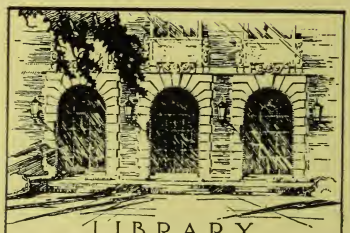
J. M. Spaeth's
Buch-Antiquar- u. Landkarten-Handlung
BERLIN
52. Königs-Str. 52
vis a vis dem Rathhause
hält das größte Lager von Büchern aller Wissenschaften, Jugendschriften, Schulbüchern, Classischen Werken *etc. etc. und empfiehlt sich zu deren Einkauf. Aufträge von Außerhalb* prompt *und zu den*
billigsten Preisen.

F. Charlé.
Elisabethst. 14.



LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF ILLINOIS

Aron Library
1913
500
Er5l
1866

Lehrbuch der Naturlehre

für

Volksschullehrer, zum Gebrauch an Seminarien und zum Selbstunterricht

von

Dr. W. Erler,
Professor und Oberlehrer am Königlichen Pädagogium bei Züllichau.

Dritte verbesserte und vermehrte Auflage.

Mit 200 Holzschnitten.

Berlin,
Ferd. Dümmler's Verlagsbuchhandlung.
(Harrwitz und Goßmann.)
1866.

500
E 52
1866

12 Apr. 44 Hamm

Vorrede zur ersten Auflage.

Die von Herrn F. E. J. Crüger zuerst in seiner „Physik in der Volksschule" ausgesprochenen Grundsätze über den Unterricht in der Naturlehre haben alsbald die allgemeinste Anerkennung der Pädagogen gefunden. Es waren im Wesentlichen dieselben, die auch ich meinem Unterrichte am hiesigen Seminar von Anfang an zu Grunde gelegt hatte, und ich beeilte mich daher, meine Uebereinstimmung mit denselben an einem andern Orte*) auszusprechen. Ich führe diejenigen, welche mich bei Abfassung dieses Lehrbuches geleitet, auf folgende zwei Hauptpunkte zurück: 1) Lehren von rein wissenschaftlichem Interesse, Theorien, Hypothesen gehören nicht in Lehrbücher, die nach ihrer ganzen Einrichtung nicht für Physiker von Fach bestimmt sind; dagegen ist eine ausführliche Betrachtung der uns im täglichen Leben fortwährend begegnenden Erscheinungen oder allgemein bekannter Instrumente, deren Wirkung auf physikalischen Gesetzen beruht, aufzunehmen. 2) Die Gesetze sind durch möglichst einfache Versuche, die ohne kostspielige Apparate angestellt werden können, zur Anschauung zu bringen, damit den Schülern nicht blos der durch große Apparate oft verdeckte Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung erleichtert werde, sondern sie auch zur lebhafteren Theilnahme am Unterrichtsgegenstande in und außer der Schule angeregt werden, indem sie selbst im Stande sind, diese Versuche durch überall zugängliche Hülfsmittel zu wiederholen. —

Der erste dieser Grundsätze bestimmte die Auswahl des Stoffes. Ich überging daher diejenigen Lehren, welche noch wenig praktische Anwendung gefunden haben und auch nicht zur Erklärung alltäglicher Erscheinungen dienen, z. B. Thermo- und Magnetoelektricität, Nota-

*) Schulblatt der Prov. Brandenburg. Jahrg. 1850. S. 354 u. f.

305900

tionsmagnetismus, Diamagnetismus, Polarisation, Inflexion des Lichtes und der Wärme, Interferenz des Schalles u. a., ebenso das rein Theoretische, z. B. die Wellenlehre, die Natur des Lichtes und der Wärme. Dagegen behandelte ich ausführlich dasjenige, was praktische Wichtigkeit hat, wenn es nicht zu tief in die Technologie einging, z. B. die Wagen, namentlich die Brückenwage, die verschiedenen Uhren, überhaupt die Hauptbestandtheile der Maschinen, das Platinafeuerzeug, die Galvanoplastik, die Zeiger- und Drucktelegraphen, die Blaseinstrumente, die Orgel, die gewöhnlichsten optischen Instrumente, die Daguerreotype, die Dampfmaschine, Lokomotive u. a., ferner die Erscheinungen des täglichen Lebens, z. B. das Gefrieren, das Kochen, das Verbrennen, die Flamme, die Wirkung der eisernen und Kachelöfen, namentlich aber die meteorologischen Erscheinungen und die wichtigsten klimatologischen Gesetze. Ebenso bestimmte ich für die Betrachtung der alltäglichen chemischen Erscheinungen, mit Ausschluß der wissenschaftlichen Grundlage derselben, einen ziemlich bedeutenden Raum.

Der zweite Grundsatz war für die Behandlung des Stoffes maaßgebend. Herr Crüger hat besonders in seiner „Schule der Physik", von der mir jedoch nur die erste Lieferung zu Gesicht gekommen, Ausgezeichnetes in dieser Hinsicht geleistet. Ueberall bin auch ich von einfachen Versuchen oder bekannten Erscheinungen ausgegangen und habe daraus das Gesetz hergeleitet, dem ich einen möglichst präcisen Ausdruck zu geben suchte. Hierauf folgen die Anwendungen, welche das Gesetz in andern Fällen erfährt. Den Zusammenhang der einzelnen Gesetze war ich nachzuweisen bemüht, soweit es nicht ein Eingehen in Theorien erforderlich machte, deren Verständniß weit über den Gesichtskreis derjenigen hinaus liegt, für die das Buch bestimmt wurde. Denn ich konnte mich nicht entschließen, einem weit verbreiteten Fehler unsrer Tage Nahrung zu geben, über Dinge oberflächlich mitzusprechen, für deren Einsicht die eigentliche wissenschaftliche Grundlage fehlt. Aus ähnlichem Grunde habe ich auch keine allgemeine Einleitung über die Begriffe: Natur, Naturlehre u. a. und in den einzelnen Abschnitten keine Erklärung der Ueberschriften vorausgeschickt. Andrerseits machte ich es mir zur Aufgabe, wie es das Inhaltsverzeichniß nachweist, das gesammte Material unter bestimmte Kategorien zu ordnen und durch Rückblicke am Schlusse der Abschnitte *nach* vorhergegangener Bekanntschaft mit den Einzelheiten den inneren Zusammenhang derselben nachzuweisen.

Nach diesen Grundsätzen ist nun das vorliegende Buch ausgearbeitet. Es ist darauf berechnet, daß die Schüler sich sowohl aus demselben zu Hause vorbereiten können, als auch, nachdem der Stoff in der Lehrstunde allseitig durchgearbeitet ist, in demselben das gesammte Material zur Repetition beisammen finden, daß sie mit seiner Hülfe die entstandenen Lücken auszufüllen vermögen, aber auch in demselben außer der Zeit des Unterrichtes eine lehrreiche Unterhaltung haben. Zu diesem Zwecke ist das Buch mit einfachen, verdeutlichenden Holzschnitten versehen, für deren treffliche Ausführung die Verlagshandlung besondere Sorgfalt getragen hat. Der Mangel derselben machte mir außer anderen Gründen den Gebrauch der Crüger'schen „Grundzüge" unthunlich.

Daß ich bei der Ausarbeitung die besten Hülfsmittel benutzt habe und vielfach auf die Quellen zurückgegangen bin, soll, hoffe ich, das Lehrbuch selbst zeigen; ich habe dies als eine besondere Verpflichtung, die mir der Aufenthalt in der an wissenschaftlichen Schätzen so reichen Stadt auferlegte, anerkannt. Neben den größeren classischen physikalischen Werken fühle ich mich ganz besonders verpflichtet, die Lehrbücher von Koppe und Stöckhardt hervorzuheben, denen ich vielfache Belehrung verdanke. — Auf einen Punkt glaube ich noch besonders hinweisen zu müssen; es sind die geschichtlichen Bemerkungen, die ich theils den einzelnen Paragraphen, theils ganzen Abschnitten beigefügt habe. Durch Vergleichung der Quellen hoffe ich auch hier manche weit verbreitete Fehler vermieden zu haben. Zugleich war ich bemüht, durch die Erzählung davon, wie wahrheitsuchende Männer sich liebevoll in die Natur versenkt, ihren Gesetzen nachgeforscht und, wenn es galt, muthig die gefundene Wahrheit ausgesprochen haben, auch dem Gemüthe eine direkte Anregung zu geben. Dagegen glaubte ich mich aller moralischen und religiösen Betrachtungen enthalten zu müssen; beredt genug rühmen die Wahrheiten der Natur in ihrem wunderbaren Zusammenhange und ihrer Einfachheit die Weisheit, Güte und Allmacht Gottes.

Bei den Zahlenangaben habe ich runde Zahlen, die sich leicht behalten, angeführt, ferner das preußische Maaß und die Reaumur'schen Temperaturbestimmungen, da diese in unserm gewöhnlichen Leben noch immer die üblichsten zu sein pflegen.

Berlin, 1853. Dr. W. Erler,

Lehrer am Königl. Seminar für Stadtschulen.

Vorrede zur zweiten Auflage.

Bei der allgemeinen Billigung, welche in den mir zu Gesicht gekommenen Recensionen die im Vorstehenden aufgestellten Principien gefunden haben, wurde es mir leicht, an die Bearbeitung der neuen Auflage zu gehen. Ich hoffe, daß man im Einzelnen überall die bessernde Hand wahrnehmen wird, indem theils einzelne Bemerkungen in den Recensionen, namentlich aber die eigene Benutzung des Lehrbuchs und eine genaue Durchsicht mich manche kleine Mängel erkennen ließen. Zusätze, wie sie die rastlos fortschreitende Wissenschaft auch für ein solches Buch nöthig zu machen schien, finden sich vielfach; nirgends sind aber dabei die im Obigen aufgestellten Principien verlassen worden. Größere Umarbeitungen haben nur § 3., 7. und 17. erfahren, wodurch diese schwierigen Partien, wie ich hoffe, eine zugleich genaue, kurze und deutliche Behandlung erhalten haben; ferner habe ich in dem letzten Abschnitt über die Wärme die meteorologischen Erscheinungen in besseren Zusammenhang zu bringen gesucht und zu diesem Zwecke theils einzelne Partien hinzugefügt, theils das Vorhandene anders geordnet. Für viele treffende Bemerkungen und Rathschläge bei dieser Umarbeitung bin ich meinem auch mir leider viel zu früh verstorbenen Freunde, dem Professor Joachimsthal in Breslau, zu Dank verpflichtet. Nicht minder ist die Verlagshandlung, indem sie bereitwilligst eine große Anzahl minder gelungener Holzschnitte durch bessere ersetzt hat, bemüht gewesen, eine verbesserte Ausstattung zu bewirken.

Durch meine Rückkehr zur gymnasialen Thätigkeit veranlaßt, habe ich, um das Lehrbuch den Bedürfnissen der Gymnasien anzupassen, im Jahre 1855 einen Anhang herausgegeben. Bei dem größeren Umfange mathematischer Kenntnisse nemlich, die in der Prima eines Gym-

nasiums vorausgesetzt werden können, erschien es pädagogisch geboten, Physik und Mathematik innig mit einander zu verbinden und auf einander zu beziehen, theils um die Anwendung der Mathematik nicht blos auf oft sehr triviale Vorfälle des täglichen Lebens, sondern auch auf Fragen der Wissenschaft zu zeigen, theils um den innigen Zusammenhang der physikalischen Gesetze und diese selbst in ihrer vollen mathematischen Bestimmtheit und Genauigkeit nachzuweisen. Zugleich machte der wissenschaftliche Charakter eines Gymnasiums manche Erweiterungen nöthig, die ich bei der ursprünglichen Bestimmung des Buches absichtlich und, wie ich glaube, mit vollem Rechte vermieden hatte. Es würde mich sehr freuen, wenn einige meiner näheren Fachkollegen nach genauerer Einsicht des Lehrbuches und des dazu gehörigen Anhanges Veranlassung fänden, dasselbe ihrem Unterrichte an Gymnasien zu Grunde zu legen, indem dann auch der Anhang in einer im Einzelnen verbesserten Gestalt, die bereits vollständig vorbereitet ist, erscheinen würde.

Züllichau, Ostern 1862.

Dr. W. Erler,
Professor.

Vorrede zur dritten Auflage.

Nach dem Erscheinen der zweiten Auflage hat der Herr Minister der geistlichen ꝛc. Angelegenheiten in einem besonderen Erlasse v. 18. Oct. 1862 (Stiehls Centralbl. 1862. S. 595.) auf Grund eines eingeholten Gutachtens das vorstehende Lehrbuch als sehr wohl geeignet für den Unterricht in der Naturlehre an Seminarien bezeichnet; in Folge dessen hat es statt der bis dahin ausschließlich gestatteten Crügerschen Grundzüge an mehreren derartigen Lehranstalten Eingang gefunden. — Die verhältnißmäßig unbedeutenden Veränderungen, welche die gegenwärtige Auflage aufweist, bestehen außer kleinen Zusätzen und Verbesserungen namentlich in der Aufnahme eines § über Induktionselektricität, in der Umarbeitung des § 53. über Magnetismus und in einer etwas veränderten Behandlung der Voltaschen Säule, durch welche der oft verwirrende Unterschied zwischen dieser und den gewöhnlichen galvanischen Elementen in Bezug auf Polbenennung vermieden wird. Die letztere verdanke ich, wie manche andere Bemerkung, meinem verehrten Freunde, dem Herrn Oberlehrer J. Helmes in Celle. — Die wichtigste Veränderung hat aber das Buch durch die Verlagshandlung erfahren, indem dieselbe nicht blos von neuem durch ein stattlicheres Format und eine sehr große Anzahl neuer Holzschnitte für eine verbesserte Ausstattung Sorge getragen, sondern sich auch entschlossen hat, ohne Preiserhöhung dem Lehrbuche den von mir ganz umgearbeiteten Anhang beizufügen, wodurch das Buch, wie ich hoffe, sich auch zur Benutzung an Gymnasien geeignet erweisen dürfte.

Züllichau, Johannis 1866.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichniß.

Erster Theil. Mechanische Erscheinungen der Körper. § 1—34. S. 1—75.
Erster Abschnitt. Mechanische Erscheinungen der Körper im allgemeinen. § 1—7. S. 1—19.
Erstes Kap. Ruhe und Bewegung im allgemeinen: § 1. Das Gesetz der Beharrung. S. 1. § 2. Mittheilung der Bewegung. S. 2. § 3. Zusammensetzung der Bewegungen und Kräfte. S. 3.
Zweites Kap. Die durch die Schwere hervorgebrachten Bewegungen: § 4. Der Fall der Körper. S. 6. § 5. Die Wurfbewegung. S. 9. § 6. Das Pendel. S. 11. § 7. Die Centralbewegung und die allgemeine Gravitation. S. 13.
Geschichtliche Bemerkungen zum 1. Abschnitt. S. 17.
Zweiter Abschnitt. Mechanische Erscheinungen der Körper im besonderen. § 8. Die Aggregatszustände der Körper. S. 19.
Erste Abtheil. Mechanische Erscheinungen fester Körper. § 9. Feste Körper im allgemeinen. S. 21.
Erstes Kap. Wirkung der Schwere auf die festen Körper. § 10. Der Schwerpunkt. S. 22.
Zweites Kap. Maschinen, welche auf dem Hebel beruhen: § 11. Der Hebel. S. 25. § 12. Die Wagen. S. 29. § 13. Die Rollen und Räder. S. 32. § 14. Die Uhren. S. 34.
Drittes Kap. Maschinen, welche auf der schiefen Ebene beruhen: § 15. Die schiefe Ebene überhaupt. Die Reibung. S. 36. § 16. Der Keil und die Schraube. S. 38.
Viertes Kap. § 17. Maschinen im allgemeinen. S. 40.
Geschichtliche Bemerkungen zur 1. Abtheil. S. 43.
Zweite Abtheil. Mechanische Erscheinungen tropfbarflüssiger Körper. § 18. Tropfbarflüssige Körper im allgemeinen. S. 43.
Erstes Kap. Der durch das Wasser ausgeübte und fortgepflanzte Druck: § 19. Der Druck des Wassers im allgemeinen. S. 44. § 20. Communicirende Röhren. S. 47. § 21. Das Verhalten fester Körper in flüssigen. S. 49.
Zweites Kap. Die Wirkung der Adhäsion auf flüssige Körper. § 22. Adhäsion und Capillarität. S. 52.
Geschichtliche Bemerkungen zur 2. Abtheil. S. 54.
Dritte Abtheil. Mechanische Erscheinungen luftförmiger Körper. § 23. Luftförmige Körper im allgemeinen. S. 54.
Erstes Kap. Der Druck der Atmosphäre an sich. § 24. Die Höhe der Atmosphäre. S. 56. § 25. Der Druck der Atmosphäre. S. 56. § 26. Das Barometer. S. 57.
Zweites Kap. Die verschiedene Expansivkraft der Luft und ihre Wirkungen. § 27. Das Mariottesche Gesetz. S. 59. § 28. Die hemmende Wirkung der Expansivkraft der Luft. S. 61. — Die

bewegende Wirkung der Expansivkraft der Luft. § 29. Die Pumpen und die Feuerspritze. S. 63. § 30. Der Saugheber und die Mariottesche Flasche. S. 65. § 31. Die Luftpumpe. S. 67. § 32. Versuche mit der Luftpumpe. S. 69. — Die hebende Wirkung der Expansivkraft der Luft. § 33. Die Luftschifffahrt. S. 71.

Drittes Kap. § 34. Das Verhalten verschiedener Luftarten zu einander. S. 73.

Geschichtliche Bemerkungen zur 3. Abtheil. S. 74.

Zweiter Theil. Chemische, magnetische und elektrische Erscheinungen. § 35—68. S. 76—141.

Erster Abschnitt. Chemische Erscheinungen. § 35—52. S. 76—106.

Erste Abtheil. Unorganische Chemie. § 35—44. S. 76—91.

Erstes Kap. Die wichtigsten Luftarten: § 35. Der Sauerstoff und der Stickstoff. S. 76. § 36. Der Wasserstoff. S. 78. § 37. Die Kohlensäure. S. 80. § 38. Das Chlor. S. 81.

Geschichtliche Bemerkungen zum 1. Kap. S. 82.

Zweites Kap. Die wichtigsten Gesetze der Chemie: § 39. Gesetze der chemischen Verbindungen. S. 82. § 40. Gesetze der chemischen Zersetzung. S. 84.

Drittes Kap. Die wichtigsten chemischen Verbindungen. § 41. Das Wasser. S. 85. § 42. Die Säuren. S. 86. § 43. Die Alkalien, die alkalischen Erden und die Thonerde. S. 88. § 44. Verbindungen der Schwermetalle. S. 90.

Zweite Abtheil. Organische Chemie. § 45—52. S. 91—103. § 45. Organische Stoffe im allgemeinen. S. 91.

Erstes Kap. Wichtige Veränderungen der Pflanzenstoffe. § 46. Die Ernährung der Pflanzen. S. 92. Veränderungen der Pflanzenstoffe außerhalb des Organismus. § 47. 48. Das Verbrennen. S. 94. § 49. Die Verwesung und Fäulniß. S. 98. § 50. Die Gährung. S. 98.

Zweites Kap. Wichtige Veränderungen der thierischen Stoffe. § 51. Veränderungen im Organismus. S. 101. § 52. Veränderungen einzelner Stoffe außerhalb des Organismus. S. 102.

Geschichtliche Bemerkungen zur Chemie. S. 103.

Zweiter Abschnitt. Magnetische Erscheinungen. § 53—55. S. 107—113.

Erstes Kap. Die Wirkung eines gewöhnlichen Magneten. § 53. Die Grundgesetze der magnetischen Erscheinungen. S. 107. § 54. Die Bereitung und Armirung der Magnete. S. 109.

Zweites Kap. § 55. Die Wirkung des Erdmagnetismus. S. 110. Geschichtliche Bemerkungen zum Magnetismus. S. 112.

Dritter Abschnitt. Elektrische Erscheinungen. § 56—69. S. 113—141.

Erste Abtheil. Elektricität durch Reibung. § 56—62. S. 113—127.

Erstes Kap. § 56. Die Hauptgesetze der Reibungselektricität. S. 113. § 57. Die Elektrisirmaschine. S. 115.

Zweites Kap. Instrumente, die auf der Vertheilung der Elektricität beruhen. § 58. Die Vertheilung der Elektricität. S. 117. § 59. Der Elektrophor und die Leydener Flasche. S. 118. § 60. Versuche mit der Leydener Flasche. S. 120.

Drittes Kap. § 61. 62. Die Luftelektricität und das Gewitter. S. 123.

Zweite Abtheil. Elektricität durch Berührung. § 63—69. S. 127—141.

Erstes Kap. § 63. Die Hauptgesetze der Berührungselektricität. S. 127.

Zweites Kap. Die Einrichtung der galvanischen Ketten. § 64. Die Voltasche Säule und die constante Kette. S. 129. § 65. Die offene und die geschlossene Kette. S. 131.

Drittes Kap. Die Wirkungen der galvanischen Ketten. § 66. Die Wirkungen der galvanischen Ketten im allgemeinen. S. 132. § 67. Die Galvanoplastik. S. 135. § 68. Elektromagnetische Erscheinungen. S. 135. § 69. Elektrische Wirkungen durch Induktion S. 140.

Dritter Theil. Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme. § 70—109. S. 142—234.

Erster Abschnitt. Erscheinungen des Schalles. § 70—77. S. 142—156.

Erstes Kap. Der Schall und die Töne im allgemeinen. § 70. Der Schall im allgemeinen. S. 142. § 71. Die Tonverhältnisse. S. 143.

Zweites Kap. Die Entstehung der Töne. § 72. Die Entstehung der Töne durch Schwingungen fester Körper. S. 145. § 73. Die Entstehung der Töne durch Schwingungen der Luft. — Die einzelnen Blaseinstrumente. S. 147. § 74. Die Orgel. S. 149. § 75. Die Verstärkung des Schalles durch Mitklingen. S. 151.

Drittes Kap. Die Fortpflanzung des Schalles. § 76. Die Abnahme der Stärke und die Geschwindigkeit des Schalles. S. 152. § 77. Das Echo. S. 155.

Geschichtliche Bemerkungen zu der Lehre vom Schall. S. 156.

Zweiter Abschnitt. Erscheinungen des Lichtes. § 78—93. S. 156—190.

Erste Abtheil. Die ungehinderte Fortpflanzung des Lichtes. § 78. Die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. S. 156. § 79. Die Geschwindigkeit des Lichtes. S. 158.

Zweite Abtheil. Erscheinungen, wenn die Fortpflanzung des Lichtes durch undurchsichtige Körper gehindert wird. § 80—83. S. 160—167.

Erstes Kap. § 80. Der Schatten. S. 160.

Zweites Kap. Die regelmäßige Zurückwerfung oder Spiegelung. § 81. Die Planspiegel. S. 161. § 82. Die Spiegel mit gekrümmter Oberfläche. S. 162.

Drittes Kap. § 83. Die unregelmäßige Zurückwerfung. S. 165.

Dritte Abtheil. Erscheinungen, wenn die Fortpflanzung des Lichtes durch durchsichtige Körper gehindert wird. § 84—90. S. 168—185.

Erstes Kap. Die Strahlenbrechung. § 84. Das Gesetz der Strahlenbrechung. S. 168. § 85. Die Strahlenbrechung durch die Luft. S. 170. § 86. Die Strahlenbrechung durch Glas. S. 172. § 87. Instrumente, die auf der Strahlenbrechung beruhen. S. 175.

Zweites Kap. Die Farbenzerstreuung. § 88. Die Gesetze der Farbenzerstreuung. S. 179. § 89. Die Bläue des Himmels. Die Morgen- und Abendröthe. S. 183. § 90. Der Regenbogen. S. 184.

Vierte Abtheil. Der Vorgang des Sehens. § 91. Die Entstehung des Bildes auf der Netzhaut. S. 185. § 92. Der Lichteindruck auf der Netzhaut. S. 187. § 93. Das Urtheil über den Eindruck auf der Netzhaut. S. 188.

Geschichtliche Bemerkungen zu der Lehre vom Lichte. S. 190.

Dritter Abschnitt. Erscheinungen der Wärme. § 94—109. S. 190—234.

Erste Abtheil. Die Ausdehnung durch die Wärme. § 94. Die Ausdehnung im allgemeinen. S. 190. § 95. Die Thermometer. S. 193.

Zweite Abtheil. Die Fortpflanzung der Wärme. § 96. Die Lei-

tung der Wärme. S. 196. § 97. Die Strahlung der Wärme. S. 197. § 98. Die specifische Wärme. S. 200.

Dritte Abtheil. Die Veränderung des Aggregatzustandes. §. 99. Die Gesetze für die Veränderung des Aggregatszustandes. S. 201. § 100. Das Gefrieren des Wassers. S. 204. § 101. Das Kochen des Wassers. S. 205. § 102. Das Verdunsten des Wassers. S. 207. § 103. Die Niederschläge in der Atmosphäre. S. 210. § 104. Die Wirkung des Wasserdampfes. S. 212.

Vierte Abtheil. Die Quellen der Wärme.

Erstes Kap. § 105. Wärme durch chemische Anziehung und durch Verdichtung. S. 220.

Zweites Kap. Die Erwärmung durch die Sonne. § 106. Die Temperaturverhältnisse auf der Erde im allgemeinen. S. 222. § 107. Die Temperaturänderung über und unter der Erdoberfläche. S. 225. § 108. Die Winde. S. 228. § 109. Von dem Zusammenhange der Niederschläge und der Luftströmungen. S. 231.

Geschichtliche Bemerkungen zu der Lehre von der Wärme. S. 233.

Anhang.

Zu § 3. Geschwindigkeit. — Zusammensetzung u. Zerlegung d. Kräfte. S. 235. — Zu § 4. Gesetze des freien Falles und auf der schiefen Ebene. S. 235. — Zu § 5. Gesetze der Wurfbewegung. S. 236. — Zu § 6. Pendelgesetze. S. 238. — Zu § 7. Centralbewegung. Gravitation. S. 239. — Zu § 9. Dichtigkeit. S. 240. — Zu § 10. Zusammensetzung paralleler Kräfte. Schwerpunkt. S. 240. — Zu § 11. Gesetze des Hebels. S. 242. — Zu § 12. Wage. S. 243. — Zu § 13. Rollen und Räder. S. 243. — Zu § 15. Schiefe Ebene. S. 244. — Zu § 16. Keil und Schraube. S. 244. — Zu § 17. Bewegende Kraft. — Lehre vom Stoß. S. 245. — Zu § 18. Tropfenbildung. S. 246. — Zu § 19. Vertikaler Wasserdruck. S. 246. — Zu § 20. Communicirende Röhren. S. 246. — Zu § 21. Stabiles Schwimmen. S. 247. — Zu § 24. Höhe der Atmosphäre. S. 247. — Zu § 25. Luftdruck. S. 248. — Zu § 26. 27. Mariott. Gesetz. — Abnahme d. Dichtigkeit d. Luft mit der Höhe. — Barometr. Höhenmessung. S. 248. — Zu § 33. Luftschifffahrt. S. 249. — Zu § 39. Oxydationsstufen. — Stöchiometrische Grundgesetze. S. 250. — Zu § 53. Abnahme der magnetischen Anziehung mit der Entfernung. S. 251. — Zu § 56. Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche. S. 252. — Zu § 60. Geschwindigkeit der Elektricität. S. 252. — Zu § 63. Spannung. S. 253. — Zu § 64. Voltasche Säule. S. 253. — Zu § 65. Ohmsches Gesetz. S. 254. — Zu § 68. Tangentenbousssole. S. 255. Zusätze zur Elektricität: Elektromagnetismus. — Parallele Ströme. — Thermoelektricität. S. 256. — Zu § 71. Gleichschwebende Temperatur. S. 256. — Zu § 72. Schwingungsgesetze d. Saiten. S. 256. — Zu § 78. Stärke der Beleuchtung. S. 256. — Zu § 79. Geschwindigkeit des Lichts. S. 256. — Zu § 80. Schatten. S. 257. — Zu § 81. Drehung des Spiegels. S. 257. — Zu § 82. Gesetze für die Hohlspiegel. S. 258. — Zu § 84. Strahlenbrechung. S. 259. — Zu § 86. Gesetze für die Linsen. S. 260. — Zu § 87. Optische Instrumente. S. 261. — Zu § 90. Ableitung des Regenbogens. S. 261. — Zu § 94. Ausdehnung durch die Wärme. S. 262. — Zu § 98. Specifische Wärme. S. 263. — Zu § 99. Latente Wärme. Calorimeter. S. 264. — Zu § 102. Wasserdämpfe. S. 264. — Zu § 104. Verschiebbares Parallelogramm. S. 264.

Erster Theil.

Mechanische Erscheinungen der Körper.

Erster Abschnitt.

Mechanische Erscheinungen der Körper im Allgemeinen.

Erstes Kapitel.

Ruhe und Bewegung im allgemeinen.

§ 1. Das Gesetz der Beharrung.

Wenn wir die Blätter eines Baumes sich bewegen sehen, so schließen wir, daß Wind da sei, welcher sie in Bewegung setze; wenn ein Wagen dahinfährt, so wissen wir, daß es Thiere sind, die ihn bewegen; auch indem wir eine Lokomotive dahineilen sehen, urtheilen wir, daß eine Kraft vorhanden sei, welche die Ursache dieser Bewegung sei. Denn von selbst würden sich weder die Blätter des Baumes, noch der Wagen, noch die Lokomotive bewegt haben. *Kein lebloser Körper bewegt sich von selbst.* — Jeder weiß, daß, wenn er eine Kugel im Sande rollt, sie eher zur Ruhe kommt, als wenn dies auf einer Lehmtenne, oder gar auf einer hölzernen Bohle geschieht; der Sand bietet der Bewegung ein größeres Hinderniß dar, als die Lehmtenne, die Bohle; je geringer das Hinderniß ist, desto weniger vermindert sich die Geschwindigkeit, mit der die Kugel rollt; im Anfang scheint sie gar Nichts von ihrer Geschwindigkeit verloren zu haben. Dieses Hinderniß also bewirkt, daß die Kugel nach und nach ihre Geschwindigkeit verliert und endlich aufhört, sich zu bewegen. Wäre aber kein Hinderniß da, so würde sie sich, schließen wir, fortwährend mit derselben Geschwindigkeit nach ein und derselben Richtung fortbewegen; und wenn dies nicht geschehen soll, so muß eine Kraft da sein, welche diese Bewegung stört oder hemmt. *Kein lebloser Körper ändert oder hemmt von selbst seine Bewegung.* Mag also ein Körper ruhen oder mag er sich bewegen, er beharrt darin so lange, bis eine Kraft auf ihn wirkt; dies ist das *Gesetz der Beharrung*, welches sich in zweifacher Weise zeigt und genauer ausgedrückt so lautet:

1) jeder ruhende Körper bleibt in Ruhe, bis eine Kraft ihn in Bewegung setzt;
2) jeder bewegte Körper bewegt sich unverändert, d. h. mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Richtung fort, bis eine Kraft seine Bewegung stört oder hemmt.

Dieses Gesetz ist übrigens als ein mechanischer Grundsatz anzusehen, der sich durch keinen Versuch nachweisen läßt, dessen Richtigkeit sich aber durch die unzähligen Folgerungen aus demselben ergiebt. Auch findet das Auffallende vieler Erscheinungen des täglichen Lebens in dem Beharrungsgesetz, welches dabei mitwirkt, seine einfache Erklärung. So fällt der aus dem Mastkorbe eines fahrenden Schiffes losgelassene Ball am Fuße des Mastes nieder, weil er auch, nachdem er losgelassen wurde, noch die Bewegung beibehält, die er vorher hatte. Eine an einem Faden aufgehängte Kugel, aus ihrer lothrechten Lage gebracht, fällt nicht nur, sondern steigt, der Schwere entgegen, an der andern Seite in die Höhe, weil die Kugel einmal die Bewegung nach der Seite hin hat. Ebenso behält das Rad der Spinnerin oder des Drechslers, nachdem man es durch Heruntertreten des Bretes in eine drehende Bewegung versetzt hat, dieselbe auch weiter bei und nimmt das Bret wieder in die Höhe. Eine recht lange dauernde Bewegung zeigt wegen des geringen Hindernisses ein Brummkreisel, besonders auf einem glatten Tische oder Fußboden.

§ 2. Mittheilung der Bewegung.

Schiebe ich ein Buch, auf dem ein Steinchen liegt, langsam nach der Seite, so setze ich nicht nur das Buch in Bewegung, sondern auch das Steinchen nimmt an dieser Bewegung Theil; und wenn das Buch wieder ruht, hört auch das Steinchen auf, sich zu bewegen. Es findet nämlich zwischen dem Steinchen und dem Buche ein Zusammenhang Statt, dessen Grund bei der Reibung (§ 15.) näher besprochen werden soll, und dieser bewirkt, daß der eine Körper den mit ihm verbundenen seine Ruhe und Bewegung mittheilt. Wird aber das Buch plötzlich in Bewegung gesetzt, etwa nach rechts, so wird das Steinchen zurückbleiben und an der linken Seite herabfallen. Oder kommt das Buch plötzlich zur Ruhe, indem es an die Wand stößt, so wird sich das Steinchen noch nach rechts fortbewegen. Der Grund liegt darin, daß der Uebergang aus der Ruhe in die Bewegung, oder aus der Bewegung in die Ruhe zu schnell vor sich ging. Das Steinchen setzt nemlich in Folge der Beharrung diesem Uebergange einen Widerstand entgegen, der in gleichem Grade, wie der Unterschied zwischen der vorhergehenden und der erlangten Geschwindigkeit wächst. Geht daher ein ruhender Körper schnell in Bewegung über, so bleiben andre Körper, die mit ihm in Verbindung standen, in Ruhe, während er sich bewegt; und geht ein bewegter Körper schnell zur Ruhe über, so behalten Körper, die mit ihm in Verbindung standen, ihre Bewegung noch bei, nachdem er bereits in Ruhe gekommen ist. — Auch hiervon zeigt uns das tägliche Leben zahlreiche Bei-

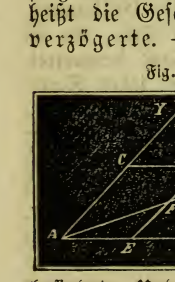
spiele: rückt ein Wagen, ein Schiff plötzlich an, so bleibt unser Oberkörper noch eine Weile in Ruhe, es scheint also nur, als wenn er sich nach hinten bewegte, weil sich die Füße mit dem Wagen nach vorn bewegen; hält aber der Wagen, das Schiff plötzlich an, so bewegt sich unser Oberkörper noch nach vorn. Indem wir das Ende des Stieles, an dem die Axt sitzt, auf einen Stein stoßen, fährt die Axt, nachdem der Stiel schon aufgehört hat, sich zu bewegen, noch in ihrer Bewegung fort und wird so fester auf den Stiel getrieben. Ebenso verfährt man, wenn man einen Gegenstand, der sich in eine Flasche, ein Pennal eingeklemmt hat, herausbringen will. Der hintere Theil eines Schlittens setzt, wenn man schnell um eine Ecke biegt, seine vorige Bewegung noch fort, und so entsteht das Schleudern desselben: in schnellem Laufe können wir nicht schnell anhalten, ohne vorn über zu fallen. Darauf beruht ferner das Abschütteln des Obstes, das Spritzen der Feder, wenn sie durch Unebenheiten des Papieres aufgehalten wird; die runde Oeffnung, welche eine geschossene Kugel in die Fensterscheibe macht, während ein gewöhnlicher Schlag die ganze Scheibe zertrümmert, u. A. Sehr merkwürdig ist das Sprengen der Steine durch Pulver, und das Springen schlecht geladener Gewehre, wenn nämlich zwischen dem Pulver und der Ladung noch Luft geblieben ist. Das sich entzündende Pulver hat bekanntlich eine außerordentliche Kraft sich auszudehnen; mit derselben sprengt es den Stein und treibt die Ladung des Gewehres auf eine weite Entfernung. Man sollte nun meinen, das Pulver müsse im ersten Falle, wie im zweiten, vielmehr den über dem Pulver befindlichen Sand heraustreiben, anstatt den Stein zu sprengen. Dazu muß aber jedes Sandkörnchen dem folgenden seine Bewegung mittheilen, und hierzu ist zu lange Zeit erforderlich, so daß das Pulver einen anderen Ausweg sucht und den Stein sprengt. Dagegen ist für ein Gewehr bei fest aufgesetztem Pfropfen nicht ein Gleiches zu befürchten. Ist aber noch eine Luftschicht dazwischen, der sich die Bewegung zunächst mittheilt, und die, indem sie sich selbst erst zusammendrücken läßt, die Bewegung nicht schnell genug auf die Ladung fortpflanzt, so übt auch hier das Pulver seine Kraft auf die Theile des Gewehres aus und zersprengt dasselbe, wenn es nicht stark gearbeitet ist. Auf ähnlichem Grunde beruht die Wirkung der Wollsäcke gegen die zerstörende Kraft der Mauerbrecher.

§ 3. Zusammensetzung der Bewegungen und Kräfte.

Vergleichen wir die Bewegung einer rollenden Kugel, die wir angestoßen haben, mit der eines bestimmten Punktes an derselben, so sehen wir, daß der Weg der ersteren im allgemeinen geradlinig, der des letzteren krummlinig ist. Vergleicht man die Bewegung eines laufenden Pferdes und eines Fußgängers, so bemerkt man, daß die erstere schneller ist, als die letztere. Man unterscheidet bei jeder Bewegung die Richtung des Weges und die Geschwindigkeit, mit der sie geschieht, und die letztere beurtheilen wir aus der Länge des Weges, den der Körper in einer gewissen Zeit zurückgelegt hat. Man sagt z. B. der Dampfwagen lege in einer Stunde 6 Meilen

zurück, die Schnellpost mache 1 Meile in 45 Minuten ꝛc. In der Physik pflegt man allgemein die Sekunde als die Zeit anzunehmen, für welche man die Länge des Weges bestimmt: dann ist die Geschwindigkeit der gewöhnlichen Flüsse 3—4 F., eines Fußgängers 5 F., des Windes 10 F., des Schalles 1060 F., der Erde auf ihrer Bahn 4 Meilen, des Lichtes 40000 Meilen. — Hierbei ist vorausgesetzt, daß der Körper in gleichen Zeiten eine gleiche Wegeslänge zurückgelegt; dann heißt die Geschwindigkeit eine gleichförmige. Sind aber diese Längen für gleiche Zeiten verschieden, so ist die Geschwindigkeit veränderlich und will man dann angeben, wie groß dieselbe in einem gewissen Augenblicke sei, so muß man bestimmen, welchen Weg der Körper in einer Sekunde zurücklegen würde, wenn er sich von dem Augenblicke an mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegte. Man giebt also die Geschwindigkeit eines Körpers an, wenn man bestimmt, wie lang der Weg ist, den derselbe in einer gewissen Zeit zurücklegt oder zurücklegen würde, wenn er mit gleichförmiger Geschwindigkeit weiterginge. — Der einfachste Fall einer veränderlichen Geschwindigkeit ist derjenige, daß die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten um gleichviel zunimmt oder abnimmt; so wächst bei einem fallenden Körper die Geschwindigkeit in jeder Sekunde um 30 F. und nimmt bei einem senkrecht in die Höhe steigenden Körper in jeder Sekunde um 30 F. ab. In diesem Falle heißt die Geschwindigkeit eine gleichmäßig beschleunigte oder verzögerte. — Wenn eine Person, welche sich in dem Punkte A (Fig. 1.) eines Schiffes befindet, auf demselben nach 1 Minute den Punkt C erreicht, während das Schiff selbst in dieser Zeit sich in der Richtung AX bewegt hat, so daß der Punkt A desselben nach B gekommen ist, so ist die vierte Ecke D des aus den Linien AB und AC gebildeten Parallelogramms derjenige Punkt, an welchem sich die Person nach 1 Min. befindet. Und sind die beiden Bewegungen gleichförmig gewesen, so wird der wirkliche Weg, den die Person zurückgelegt hat, durch die Diagonale AD angegeben sein. Nach einer halben Minute wird sich nemlich der Punkt A in der Mitte E von AB und die Person auf dem Schiffe in der Mitte F der mit AC parallel und gleich gezogenen Linie EG befinden u. s. w. Ebenso giebt die Diagonale den Weg der Richtung und Länge nach an, wenn beide Bewegungen gleichmäßig beschleunigte oder verzögerte sind. — Die Ursache einer jeden Bewegung ist eine Kraft. Wirkt nur eine Kraft auf einen ruhenden Körper, so ist die Bewegung geradlinig. Die Größe einer Kraft wird aber beurtheilt werden nach dem Wege, welchen ein bestimmter Körper durch sie getrieben in einer bestimmten Zeit zurückgelegt. Daher stellt man die Kräfte, welche auf denselben Körper wirken, durch begrenzte gerade Linien dar, indem dieselben 1) durch ihre Richtung die Richtung der Kraft, 2) durch ihre Länge die Größe der Kraft angeben. — Wirken nun auf eine Kugel 2 Kräfte nach ver-

Fig. 1.



schiedenen Richtungen AX und AY und bezeichnen AB und AC die Wege, welche die Kugel von jeder einzelnen getrieben in einer bestimmten Zeit zurücklegen würde, so wird die Kugel nach dem Vorigen in derselben Zeit die Diagonale AD des durch AB und AC gebildeten Parallelogramms durchlaufen. Bezeichnen also AB und AC die beiden auf die Kugel wirkenden Kräfte, so wird die Diagonale AD eine Kraft bezeichnen, welche dieselbe Wirkung hat, wie jene Kräfte zusammengenommen; man kann also statt zweier Kräfte eine angeben, welche dieselbe Wirkung hat, wie jene zusammengenommen, d. h. Kräfte zusammensetzen. Umgekehrt können aber BA und CA auch Kräfte bezeichnen, welche zusammen dieselbe Wirkung haben, wie die Kraft DA allein; man sagt, die Kraft DA wird zerlegt in die Kräfte BA und CA. Es liege z. B. eine 20 Pfund schwere Kugel A (Fig. 2.) auf der horizontalen Platte eines Tisches, diese werde in der Richtung AD von einem Gewichte von 10 Pfund gezogen, so zerlege man sich AD in die Kräfte AB und AC; es sei $AC = \frac{3}{5} AD$, $AB = \frac{4}{5} AD$, so wird die Kugel sich bewegen, als wenn ein Gewicht von 6 Pfund die Kugel in der Richtung AC zöge; sie wird aber in der Richtung von AB mit einer Kraft von 8 Pfund gehoben, so daß der Druck auf den Tisch nur noch (20—8) Pfund = 12 Pfund betragen wird. — Hieraus erklärt sich manche Erscheinung des täglichen Lebens, indem eine Kraft oft in einer Richtung wirkt, die ganz verschieden ist von der, welche sie hat. So treibt z. B. der horizontal wehende Wind den Papierdrachen xy (Fig. 3.) in die Höhe; wird die Kraft des Windes durch ab dargestellt, so läßt sich dieselbe in cb und db zerlegen, d. h. die Wirkung ist dieselbe, als wenn ein Windstrom cb und ein andrer db auf den Drachen wirkte. Der erstere würde aber an dem Drachen entlang streichen, ohne ihm eine Bewegung beizubringen; der wirksame Theil der Kraft ab ist daher db, und in dieser Richtung steigt der Drache. Zugleich ergiebt sich, daß der Drache immer einen spitzen Winkel mit dem Winde bilden muß, um zu steigen; zu diesem Zwecke ist es sowohl nöthig, daß der obere Theil an einem Bindfaden mn, als auch, daß der untere Theil durch den Schwanz xz herabgezogen werde. — Die Ebenen der Windmühlenflügel, deren Durchschnitt NO ist (Fig. 4.), haben zu der Achse MN, an der sie befestigt sind, eine schräge Lage, und werden so gestellt, daß die Richtung des Windes ab die der Achse ist. Die Kraft des Windes ab wird zerlegt nach der Richtung der Ebene der Flügel und einer auf dieser senkrech-

Fig. 2.

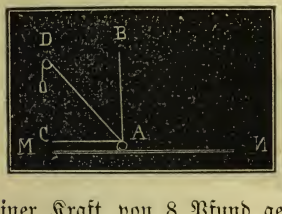


Fig. 3.

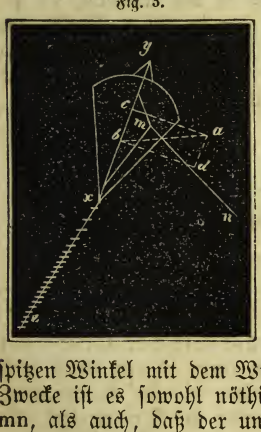
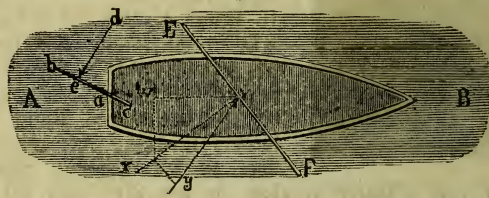


Fig. 4.

ten in cb und db oder ac. Nur die letztere ist der zunächst auf die Flügel wirkende Theil der Windeskraft; da aber die Flügel nur eine Bewegung um die Achse ausführen können, so wird auch dieser Theil ac zerlegt werden müssen in der Richtung der Achse und einer darauf senkrechten in ec und fc, und nur der letzte Theil fc bewirkt die drehende Bewegung der Flügel um die Achse. — Auf dieselbe Weise ist es dem Schiffer möglich, mit Hülfe der Richtung, die er dem Segel giebt, auch einen seinem beabsichtigten Wege ungünstigen Wind zu benutzen. Steuert das Schiff (Fig. 5.) von A nach B, und wehet der Wind von y nach v, so bringt der Schiffer sein Segel in die Richtung von EF; dann wird der durch

Fig. 5.



xv bezeichnete Theil der Kraft auf das Segel wirken, während der andre yx an dem Segel unwirksam vorbeistreicht. Das Schiff wird also durch den Wind vermittelst des Segels in der Richtung xv getrieben; durch den Widerstand des Wassers, der in einem Punkte vor dem Segel vereinigt zu denken ist, würde dem Schiff eine Drehung in der Richtung des Pfeiles gegeben werden, die durch das passend gestellte Steuer bc (§. 11.) aufgehoben wird.

Zweites Kapitel.

Die durch die Schwere hervorgebrachten Bewegungen.

§ 4. Der Fall der Körper.

Jeder weiß, daß ein Körper, welcher keine Unterlage hat und nicht aufgehängt ist, wenn er losgelassen wird, zur Erde fällt. Die Ursache dieser Bewegung ist die Anziehungskraft der Erde oder die Schwere. Alle Körper, die nicht von einer andern Kraft nach einer andern Richtung getrieben werden, zeigen dieselbe Erscheinung, aber wir sehen leicht, daß ein Geldstück schneller die Erde erreicht, als ein zu gleicher Zeit losgelassenes Papierblättchen; aus der schwankenden Bewegung des letzteren erkennen wir die Einwirkung der Luft, welche dem Fallen ein Hinderniß darbietet. Es frägt sich, ob dieselbe der einzige Grund jener verschiedenen Schnelligkeit sei, mit der das Geldstück und das Papier fallen. Zu dem Zwecke lege man das Pa-

pier auf das Geldstück und lasse beide fallen. Jetzt wird das Papier nicht mehr durch die Luft aufgehalten, weil dieselbe bereits durch das Geldstück verdrängt worden ist. Man bemerkt aber nun, daß in der That beide Körper zu gleicher Zeit die Erde erreichen. Dies wäre nicht möglich, wenn das Papier an sich langsamer fiele, da es keineswegs von der Münze mitgezogen wird. So wird sichtbar: alle Körper werden gleich stark von der Erde angezogen, oder alle Körper würden gleich schnell fallen, wenn ihnen die Luft kein Hinderniß entgegenstellte. In dem Folgenden lassen wir den Einfluß der Luft ganz unberücksichtigt.

Wirkte nun die Anziehungskraft der Erde auf einen Körper, etwa eine Kugel, nur einmal, so würde die Kugel mit der dadurch erhaltenen Geschwindigkeit in Folge des Beharrungsgesetzes bis auf die Erde fallen; die Anziehungskraft wirkt aber fortwährend, (man sagt, sie ist eine stetige Kraft), und daher muß auch die Geschwindigkeit wachsen; und da jene Kraft unverändert dieselbe bleibt, so muß auch das Wachsen der Geschwindigkeit fortwährend in gleichem Maaße geschehen. Da nun die Schwere einem Körper, wie man beobachtet hat, während 1 Sek. eine Geschwindigkeit von 30 F. ertheilt, (genauer 31 Preuß. Fuß), so hat derselbe

nach 3 Sekunden eine Geschwindigkeit von 3 . 30′ = 90′
nach 7 Sekunden = = = von 7 . 30′ = 210′
nach $7\frac{1}{2}$ Sekunden = = = von $7\frac{1}{2}$. 30′ = 225′
nach $7\frac{2}{3}$ Sekunden = = = von $7\frac{2}{3}$. 30′ = 230′.

Man sagt daher: 1) die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers wächst in demselben Maaße, wie die Zeit. — Man muß sich aber ja hüten zu meinen, der Körper sei nun in der 1. Sek. 30′ gefallen, oder während 3 Sek. oder auch während der 3. Sek. 90′ gefallen. Denn da seine Geschwindigkeit vom ersten Augenblicke an, wo der Körper noch gar keine Geschwindigkeit hatte, fortwährend gewachsen ist, beträgt sie erst am Ende der ersten Sekunde 30′, am Ende der 3. Sek. 90′, während sie unmittelbar vorher etwas kleiner, unmittelbar nachher schon wieder etwas größer ist. Der Körper hat am Ende der 3. Sekunde eine Geschwindigkeit von 90′ heißt also nur (§ 3.): er würde, wenn er vom Ende der 3. Sek. an mit gleichförmiger Geschwindigkeit weiterginge, in jeder folgenden Sekunde einen Weg von 90′ zurücklegen.

Will man dagegen den Raum wissen, den ein Körper in den einzelnen Sekunden zurücklegt, so gilt für denselben das 2te Gesetz: die Fallräume in den einzelnen Sekunden wachsen, wie die ungeraden Zahlen. Da ein Körper aber in der ersten Sek. 15′ fällt, so fällt er

in der 2. Sek. 3 . 15′ = 45′
in der 3. Sek. 5 . 15′ = 75′ ꝛc.

in der 10. Sek. aber, da die 10. ungerade Zahl $2 \times 10 - 1 = 19$ ist, 19 . 15 = 275 Fuß.

Um endlich zu bestimmen, wie viel Fuß der Körper überhaupt nach einer bestimmten Zeit gefallen ist, muß man das dritte Gesetz kennen: die Fallräume, von Anfang an gerechnet, wachsen,

wie die Quadrate der Zeiten. In der 1. Sek. fällt ein Körper 15 F., also ist er

nach 3 Sek. $3 \cdot 3 \cdot 15' = 135'$
nach 7 Sek. $7 \cdot 7 \cdot 15' = 735'$
nach $7\frac{1}{2}$ Sek. $7\frac{1}{2} \cdot 7\frac{1}{2} \cdot 15' = 843\frac{3}{4}'$ gefallen.

Hieraus ersieht man auch zugleich, daß der Körper vom Ende der 7. Sek. bis nach $7\frac{1}{2}$ Sekunde noch $108\frac{3}{4}'$ gefallen ist.

Anm. Um den Zusammenhang der beiden letzten Gesetze mit dem ersteren zu begreifen, ist es zweckmäßig, statt der fortwährend wachsenden Geschwindigkeit für einen bestimmten Zeitraum eine durchschnittliche aufzusuchen, d. h. eine solche unveränderte Geschwindigkeit, bei welcher ein Körper in dieser Zeit denselben Weg zurückgelegt haben würde, den er mit seiner gleichmäßig wachsenden Geschwindigkeit wirklich beschrieben hat. Die Geschwindigkeit am Ende der vierten, oder im Anfang der fünften Sek. ist 120', am Ende der fünften 150'; da sie nun gleichmäßig vom Anfang bis zum Ende gewachsen ist, so kann man sagen, der Körper habe während der 5. Sek. eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 135' gehabt, nemlich diejenige, die in der Mitte zwischen jenen beiden liegt; und es ist offenbar, daß, wenn der Körper von Anfang bis zu Ende der 5. Sek. diese Geschwindigkeit unverändert beibehalten hätte, er denselben Weg zurückgelegt haben würde, den er in der Wirklichkeit beschrieben hat. Ebenso ist, da die Geschwindigkeit im Anfange des Fallens Null ist, am Ende der 3. Sekunde aber 90' beträgt, die durchschnittliche Geschwindigkeit während der drei ersten Sekunden $\frac{0' + 90}{2} = 45'$; und die durchschnittliche Geschwindigkeit vom Ende der 7. Sek. bis nach $7\frac{1}{2}$ Sek. $= \frac{210' + 225'}{2}$ $= 217\frac{1}{2}'$. Will man nun den Weg wissen, den der Körper zurücklegt, so braucht man nur diese durchschnittliche Geschwindigkeit, welche den Weg für 1 Sek. bei gleichmäßiger Geschwindigkeit bezeichnet, mit der Anzahl der Sekunden zu multipliciren. Daher ist der Fallraum in der 5. Sek. $= 1 \cdot 135'$ $= 135'$, in den ersten 3 Sek. $= 3 \cdot 45' = 135'$; in der halben Sekunde von $7 - 7\frac{1}{2}$ Sek. $= \frac{1}{2} \cdot 217\frac{1}{2} = 108\frac{3}{4}$ (s. o.). — Nun ergiebt sich aber leicht, daß die durchschnittliche Geschwindigkeit

$$\text{in der 1. Sek.} = \frac{0' + 30'}{2} = 1 \cdot 15',$$

$$\text{in der 2. Sek.} = \frac{30' + 60'}{2} = 3 \cdot 15' \text{ u. s. w. ist,}$$

worin das zweite Gesetz besteht. Ferner ist die durchschnittliche Geschwindigkeit für die 1. Sek. 15'

$$\text{für die 2 ersten Sek.} = \frac{0' + 2 \cdot 30'}{2} = 2 \cdot 15'$$

$$\text{für die 3 ersten Sek.} = \frac{0' + 3 \cdot 30'}{2} = 3 \cdot 15'$$

$$\text{für die 7 ersten Sek.} = \frac{0' + 7 \cdot 30'}{2} = 7 \cdot 15'$$

$$\text{bis nach } 7\frac{1}{2} \text{ Sekunde} = \frac{0' + 7\frac{1}{2} \cdot 30'}{2} = 7\frac{1}{2} \cdot 15'$$

und da diese Geschwindigkeit für 1, 2, 3, 7, $7\frac{1}{2}$ Sek. gilt, so ist der zurückgelegte Raum in der ersten Sek. $= 1 \cdot 15'$

in den 2 ersten Sek. = 2 . 2 . 15′
in den 3 ersten Sek. = 3 . 3 . 15′
in den 7 ersten Sek. = 7 . 7 . 15′
nach $7\frac{1}{2}$ Sek. = $7\frac{1}{2}$. $7\frac{1}{2}$. 15′, wie das dritte Gesetz verlangt.

§ 5. Die Wurfbewegung.

Wird ein Körper geworfen, so sind zwei Kräfte thätig, die Wurfkraft, die nur eine unbestimmte kurze Zeit auf den Körper wirkt, nach welcher derselbe mit einer gleichförmig geradlinigen Bewegung weiter gehen würde, und die stetig wirkende Schwerkraft. In Bezug auf die gegenseitige Richtung beider Kräfte können nun verschiedene Fälle Statt finden, die wir jetzt einzeln durchgehen wollen:

1. Die Wurfkraft hat dieselbe Richtung, wie die Schwere. Dann ist die Geschwindigkeit in jedem Augenblicke gleich der Summe der ursprünglichen Geschwindigkeit und der durch die Schwere während der gegebenen Zeit hervorgebrachten Geschwindigkeit; ebenso ist der zurückgelegte Raum gleich der Summe der Räume, die der Körper vermöge seiner ursprünglichen Geschwindigkeit und vermöge der Schwere zurücklegt. Also ist, wenn der Körper eine Geschwindigkeit von 100′ durch die Wurfkraft erhält, die Geschwindigkeit

am Ende der 1. Sek. = 100′ + 1 . 30′ = 130′
der 2. Sek. = 100′ + 2 . 30′ = 160′
der 3. Sek. = 100′ + 3 . 30′ = 190′
der 10. Sek. = 100′ + 10 . 30′ = 400′

und der durchlaufene Raum nach

1 Sek. = 100′ + 1 . 15′ = 115′
2 Sek. = 200′ + 2 . 2 . 15′ = 260′
3 Sek. = 300′ + 3 . 3 . 15′ = 435′
10 Sek. = 1000′ + 10 . 10 . 15′ = 2500′.

2. Die Wurfkraft und Schwere haben entgegengesetzte Richtungen. Hier muß jedesmal, sowohl um die Geschwindigkeit, als auch um den Fallraum zu finden, der Unterschied der durch beide Kräfte hervorgebrachten Wirkungen gesucht werden. Wäre daher die durch die Wurfkraft dem Körper lothrecht nach oben ertheilte Geschwindigkeit 120′, so wäre seine Geschwindigkeit

am Ende der 1. Sek. = 120′ − 1 . 30′ = 90′ nach oben,
der 2. Sek. = 120′ − 2 . 30′ = 60′ n. o.,
der 4. Sek. = 120′ − 4 . 30′ = 0′
der 5. Sek. = 5 . 30′ − 120′ = 30′ nach unten,
der 10. Sek. = 10 . 30′ − 120′ = 180′ n. u.,

und die erreichte Höhe

nach 1 Sek. = 120′ − 1 . 15′ = 105′
nach 2 Sek. = 2 . 120′ − 4 . 15′ = 180′
nach 4 Sek. = 4 . 120′ − 16 . 15′ = 240′
nach 8 Sek. = 8 . 120′ − 64 . 15′ = 0′

oder der Körper wäre nach 8 Sekunden in seinen Ausgangspunkt zurückgekehrt, und würde von da ab weiter fallen. Der Körper steigt

also in diesem Falle mit abnehmender Geschwindigkeit bis zu einer gewissen Höhe und fällt dann mit zunehmender Geschwindigkeit wieder herab. Es treten hierbei die beiden Fragen auf, wie lange und wie hoch steigt der Körper? Der Körper steigt aber so lange, als die ihm durch die Wurfkraft nach oben ertheilte Geschwindigkeit größer ist, als die ihm durch die Schwere ertheilte und nach unten gerichtete; er hört auf zu steigen, so bald beide gleich sind. Da nun ein Körper durch die Schwere in jeder Sekunde eine Geschwindigkeit von 30′ erhält, so wird die letztere der durch die Wurfkraft ertheilten Geschwindigkeit gleich sein, wenn der Körper so oftmal 1 Sek. gestiegen ist, als 30′ in dieser enthalten sind, in obigem Beispiel also nach 4 Sekunden, wie auch die Rechnung ergab; bei einer Wurfkraft von 200′ nach $6\frac{2}{3}$ Sek., bei einer von 300′ nach 10 Sek. Hieraus kann nun leicht die Höhe bestimmt werden, die der Körper erreicht; sie beträgt in obigem Beispiele 240′; für eine Wurfkraft von 200′ aber $6\frac{2}{3} . 200' - 6\frac{2}{3} . 6\frac{2}{3} . 15' = 666\frac{2}{3}'$; für eine Wurfkraft von 300′ $= 10 . 300' - 10 . 10 . 15' = 1500'$. Ebenso lange Zeit bedarf er aber, um wieder auf die Erde zu gelangen, welche er mit derselben Geschwindigkeit erreicht, mit der er ausgegangen war.

Fig. 6.

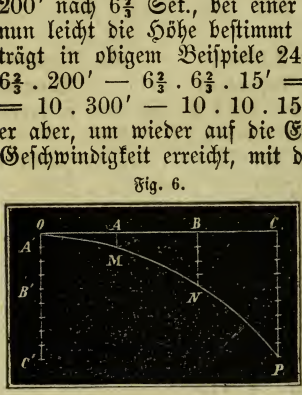
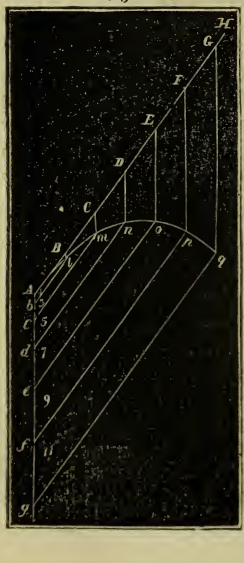


Fig. 7.



3. Die Richtungen der Wurfkraft und Schwere bilden einen rechten Winkel, erstere ist also horizontal. In diesem Falle bestimmt die Wurfkraft allein die Abweichung von der Vertikalen, die Schwere allein die Tiefe unter dem Ausgangspunkte. Nach 1, 2, 3 Sek. wäre der Körper vermöge der Wurfkraft in A, B, C; vermöge der Schwere wäre er dagegen in A′, B′, C′, wo OA′, A′B′, B′C′ . . . = 1 . 15′, 3 . 15′, 5 . 15′ ꝛc. sind: folglich ist er am Ende der 1., 2., 3. Sek. in M, N, P . . und hat während der Zeit die krumme Linie OMNP . . . durchlaufen, welche man Parabel nennt.

4. Die Richtungen beider Kräfte machen einen schiefen Winkel. Giebt die Wurfkraft dem Körper in 1 Sek. eine Geschwindigkeit AB in der Richtung AH (Fig. 7.), so würde er sich in Folge derselben nach 1, 2, 3, 4, 5, 6 Sek. in B, C, D, E, F, G befinden, während er sich vermöge der Schwere nach denselben Zeiten in b, c, d, e, f, g befinden müßte, wo Ab, bc, cd, de, ef, fg = 1 . 15′, 3 . 15′, 5 . 15′, 7 . 15′, 9 . 15′, 11 . 15′ sind. Durch das Zusammenwirken beider Kräfte befindet sich nun der Körper nach den bestimmten Zeiten in l, m, n, o, p, q und beschreibt dabei die krumme Linie Almnopq, welche ebenfalls eine Parabel ist,

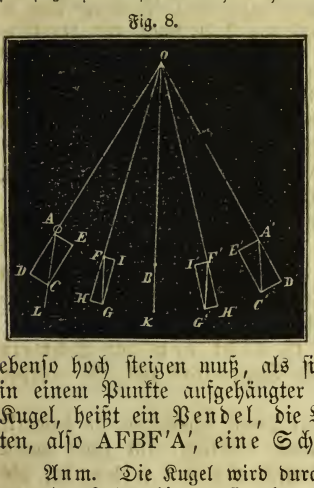
und welche die Eigenthümlichkeit hat, daß der aufsteigende Theil dem absteigenden ganz gleich ist.

In allen diesen Fällen ist auf den Widerstand der Luft keine Rücksicht genommen worden; derselbe bewirkt aber eine wesentlich andre Gestalt, namentlich des zweiten Theiles der Bahn in 4., der von dem ersteren ganz verschieden ist. Der 3. und 4. Fall finden am häufigsten Anwendung, bei ausfließendem Wasser, beim Werfen, namentlich beim Schießen. Es ergiebt sich aus dem Vorigen, daß man die Armbrust, die Flinte u. s. w. jederzeit auf einen Ort richten muß, der höher liegt, als der Gegenstand, den man treffen will, und zwar desto mehr, je entfernter derselbe ist. Dazu dienen Korn und Visir an der Büchse.

§ 6. Das Pendel.

Wenn eine an einem Faden aufgehängte Kugel aus ihrer lothrechten Lage gebracht wird, z. B. nach A, so kehrt sie nach derselben zurück, steigt aber an der andern Seite in die Höhe, kommt wieder zurück und macht so eine hin- und hergehende Bewegung. Die Schwere zieht nemlich zuerst die Kugel herab und bewirkt, daß sie in die lothrechte Lage zurückkehrt; da sie aber hier eine Bewegung nach A′ besitzt, so setzt sie dieselbe auch nach dem Beharrungsgesetze fort; hier wirkt ihr nun die Schwere entgegen, verzögert ihre Bewegung und hemmt sie endlich ganz, so daß jetzt eine gleiche Bewegung von A′ nach A Statt findet. Es ist sichtbar, daß die Kugel wegen der fortdauernden Wirkung der Schwere von A bis B immer schneller, von B bis A′ immer langsamer gehen muß, ferner, daß sie an Geschwindigkeit in jedem Punkte von AB, z. B. F ebensoviel gewinnt, als sie an dem entsprechenden Punkte von BA′, nemlich F′ verliert, woraus man schließen kann, daß die Kugel auf der einen Seite ebenso hoch steigen muß, als sie auf der andern gefallen ist. — Ein in einem Punkte aufgehängter Körper, wie hier der Faden mit der Kugel, heißt ein Pendel, die Bewegung zwischen den äußersten Punkten, also AFBF′A′, eine Schwingung.

Fig. 8.



Anm. Die Kugel wird durch die Schwere in der Richtung BL gezogen; der Faden hindert sie aber, sich in dieser Richtung zu bewegen; man muß daher die Schwerkraft, die durch AC bezeichnet werde, nach der Richtung des Fadens und einer darauf senkrechten, in AD und AE zerlegen; der erstere Theil wird durch den Faden unwirksam gemacht, der andere bewirkt die Bewegung. Ist die Kugel in die Lage F gekommen, so sind der wirksame und der unwirksame Theil FI und FH, und offenbar ist FI $<$ AE, FH $>$ AD; im Punkte B hört der wirksame Theil der Schwerkraft ganz auf. Auf dieselbe Weise ist im Punkte F′ der wirksame, die Kugel nach links ziehende Theil der Schwere F′I′, in A′ aber A′E′. Eine solche Kraft,

wie hier der Faden ausübt, die erst durch den ihr entgegengerichteten Theil einer andern Kraft hervorgerufen wird, heißt ein Widerstand. — Betrachten wir jetzt das Zusammenwirken des wirksamen Theiles der Schwere mit der Beharrung, so finden wir:

beide wirken gemeinschaftlich, während sich die Kugel der lothrechten Lage nähert,

beide wirken entgegengesetzt, während sie sich von der lothrechten Lage entfernt,

die Schwere allein wirkt in A und A', d. h. in den äußersten Punkten der Bahn,

die Beharrung allein wirkt in B, d. h. in der Mitte der Bahn.

So lange nun die Schwere mit der Beharrung zusammenwirkt, nimmt auch die Geschwindigkeit zu, die Bewegung wird eine beschleunigte; da aber die Schwere selbst immer weniger wirkt, je mehr sich die Kugel der lothrechten Lage nähert, so wird zwar die Geschwindigkeit größer, aber die Zunahme der Geschwindigkeit, d. h. die Beschleunigung geringer. Sobald die Schwere der Beharrung entgegenwirkt, nimmt die Geschwindigkeit ab, die Bewegung wird verzögert, und zwar wächst die Verzögerung, je größer die Wirkung der Schwere ist, oder je mehr sich die Kugel von der lothrechten Lage entfernt. Wenn man nun zugleich bedenkt, daß die Größe der Beharrung gleich der jedesmal erlangten Geschwindigkeit ist, daß ferner der wirksame Theil der Schwere die jedesmalige Größe der Beschleunigung und Verzögerung bedingt, so ergiebt sich:

die Geschwindigkeit ist Null in den äußersten Punkten der Bahn, nimmt zu, indem sich die Kugel der lothrechten Lage nähert, ist am größten in der lothrechten Lage und nimmt ab, indem sich die Kugel von der lothrechten Lage entfernt; der wirksame Theil der Schwere ist am größten in den äußersten Punkten der Bahn; er und somit die Beschleunigung nimmt ab, indem sich die Kugel der lothrechten Lage nähert; er ist Null in der Mitte der Bahn; er und somit die Verzögerung wächst, indem sich die Kugel von der lothrechten Lage entfernt.

Die Bewegung des Pendels wurde durch die Schwere bewirkt, daraus ergeben sich zunächst folgende Gesetze:

1) je größer die Schwerkraft ist, desto schneller schwingt das Pendel; da nun ein und dasselbe Pendel am Aequator 3600, bei uns etwa 3605, an den Polen 3609 Schwingungen in 24 Stunden macht, so muß die Schwere am Aequator geringer, an den Polen stärker sein, als bei uns (§. 7.),

2) die Dauer der Schwingung ist nicht von der Schwere des Körpers abhängig, da die Schwerkraft auf alle Körper gleich stark wirkt.

Läßt man zwei Pendel von verschiedener Länge schwingen, so bemerkt man sehr bald, daß das längere langsamer schwingt; und zwar macht das längere Pendel, wenn der Faden desselben 4 mal so lang ist, als der des andern, nur eine Schwingung, während das kürzere zwei macht. Ebenso würde ein 9 mal so langes Pendel in gleicher Zeit nur eine Schwingung machen, während das kürzere drei macht; so erhalten wir das Gesetz:

3) die Längen zweier Pendel verhalten sich umgekehrt, wie die Quadrate der Anzahl ihrer Schwingungen in derselben Zeit.

Zugleich wird man bemerken, daß das Pendel im Anfange einen grö-

ßeren Bogen macht als später, daß aber die Dauer der Schwingung sich nicht geändert hat; eine sehr genaue Messung würde freilich einen kleinen Unterschied erkennen lassen, aber auch dieser wird ganz unbedeutend, wenn die Bogen selbst klein sind (unter 10°); daraus folgt: 4) die Dauer der Schwingung ist für kleine Bogen unabhängig von der Länge der Bogen; während nemlich die Kugel den größeren Bogen zurücklegt, wirkt die Schwere gleich im Anfange viel stärker auf dieselbe und ertheilt ihr daher auch eine größere Geschwindigkeit, so daß sie den größeren Bogen in derselben Zeit beschreiben kann, in welcher sie nachher den kleineren bei geringerer Geschwindigkeit durchläuft.

Diese vier Gesetze würden nur dann genau gelten, wenn die Kugel ein Punkt wäre, und nur dieser, nicht auch zugleich der Faden von der Erde angezogen würde. Da die Anziehung aber auf die ganze Kugel und den Faden wirkt, so haben wir uns das Pendel eigentlich aus lauter Pendeln von verschiedener Länge zusammengesetzt zu denken. Nun war aber die Geschwindigkeit, mit der die Schwingungen erfolgten, von der Länge des Pendels abhängig (3); daher würden die oberen Punkte für sich schneller, die unteren langsamer schwingen, als es bei der gleichzeitigen Bewegung aller wirklich geschieht; die oberen werden daher durch die unteren verzögert, die unteren durch die oberen beschleunigt. Zugleich ist sichtbar, daß es zwischen ihnen einen Punkt geben muß, der weder durch die oberen beschleunigt, noch durch die unteren Punkte verzögert wird, der also ebenso schwingt, als wenn er dem Einflusse der anderen nicht unterworfen wäre; dieser Punkt heißt der Schwingungspunkt. Von diesem Punkte gelten nun die oben aufgestellten Gesetze, und die Entfernung desselben von dem Aufhängepunkte bestimmt die Länge des Pendels. Ist die Kugel klein, aber schwer, und der Faden fein, so trägt der letztere wenig zur Bewegung des Pendels bei, und man kann die Entfernung der Mitte der Kugel von dem Aufhängepunkte als die Länge des Pendels ansehen. — Statt des Fadens besteht das Pendel auch oft aus einem Stabe, an dem eine verschiebbare Scheibe, Linse genannt, befestigt ist, wie man es an Wanduhren sieht. Wegen der in 4. ausgesprochenen Eigenschaft benutzt man das Pendel nemlich in den Uhren (§ 14.); es ist aus dem Vorigen leicht zu sehen, daß, wenn die Linse in die Höhe geschoben wird, auch der Schwingungspunkt gehoben, also das Pendel verkürzt wird, und sich daher schneller bewegt. Man wird dies also thun, wenn die Uhr zu langsam geht, und umgekehrt die Linse herabschieben, wenn die Uhr zu schnell geht.

§ 7. Die Centralbewegung und die allgemeine Gravitation.

Wird eine Kugel A (Fig. 9.) an einem Faden, der an einem Stifte M in der Mitte einer Tischplatte befestigt ist, stark zur Seite gestoßen, so wird dieselbe, wenn der Stoß groß genug war, einen oder mehrere Kreise um den Punkt M beschreiben. Wäre der Stoß allein wirksam, so würde die Kugel in gerader Linie mit gleichförmiger Geschwindigkeit weiter gehen. Durch den Faden ist aber die Kugel ver-

hindert, sich von dem Punkte M weiter zu entfernen, als die Länge des Fadens beträgt; der Faden leistet der durch den Stoß veranlaßten Bewegung einen Widerstand. Diese stetig wirkende Kraft, welche sich der Entfernung der Kugel von dem festen Punkte widersetzt, wird Centripetalkraft genannt. Hörte dieser Widerstand in irgend einem Punkte, etwa in B auf, so würde die Kugel in Folge des Beharrungsgesetzes mit der Geschwindigkeit, die sie gerade besitzt, weiter gehen. Dies kann man sehen, wenn man den Faden nicht an dem Stifte befestigt, sondern nur einige Male um denselben wickelt; die Kugel wird dann in der Richtung der Tangente fortfliegen, sobald der Faden sich abgewickelt hat. Ebenso fliegt der Schmutz von den Rädern, der Stein aus der Schleuder. So lange dagegen der Widerstand des Fadens wirksam ist, muß die Kugel ihre kreisförmige Bahn fortsetzen. Es sei nun die Kugel in einer sehr kurzen Zeit von B nach C gelangt, so kann man annehmen, daß sie in Folge des Beharrungsgesetzes von B nach D gegangen sein würde, aber durch den Faden von B nach E gezogen worden sei. Dann stellt also BE die Größe des in der kurzen Zeit von dem Faden ausgeübten Widerstandes vor. Mit gleicher Kraft sucht sich also die Kugel in der Richtung des verlängerten Radius vom Mittelpunkte zu entfernen. Diese letztere Kraft, Schwungkraft genannt, bewirkt, daß der Faden gespannt bleibt; sie ist der Grund davon, daß man einen Eimer mit Wasser schnell herumschwenken kann, ohne daß das Wasser herausfließt, selbst wenn der Eimer oben ist; das Wasser hat nemlich vermöge der Schwungkraft das Bestreben sich vom Drehungspunkte zu entfernen, wird also gegen den Boden gedrückt. Darum müssen Bereiter, die schnell im Kreise herumreiten, sich mit ihrem Oberkörper nach dem Mittelpunkte neigen, um nicht von der Schwungkraft herausgeschleudert zu werden.

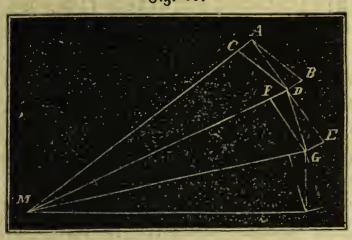
Fig. 9.

Statt der Kugel werde jetzt eine horizontale Scheibe um ihren Mittelpunkt gedreht, so beschreiben alle Punkte derselben, z. B. B und F zu gleicher Zeit Kreise um M. Während also B nach C, ist F nach G gelangt; dann ist sichtbar, daß alle Linien beider Bahnen in gleichem Verhältnisse mit dem Halbmesser derselben stehen, so daß, wenn MF = 2MB, auch die Linien für den Punkt F doppelt so groß sind, als die entsprechenden für den Punkt A. Je länger also der Faden in unserm ersten Beispiel, desto größer muß der Stoß, desto fester der Stift sein, wenn die Kugel sich in derselben Zeit herumdrehen soll, und desto größer ist das Bestreben der Kugel, sich vom Mittelpunkte zu entfernen. Dies findet nun besondere Anwendung auf unsere Erde. Jeder Ort derselben beschreibt in gleicher Zeit, nemlich in einem Tage, einen Kreis um die Erdachse. Der Aequator ist nun der größte unter diesen Kreisen, welche um so kleiner werden, je mehr sie sich den Polen nähern; folglich ist die Schwungkraft auch am Aequator am größten, an den Polen Null. Denken wir uns daher die Erde

noch in einem geschmolzenen Zustande, so mußten die Punkte am Aequator sich weiter von dem Mittelpunkte entfernen, als die unter den Polen, und so entstand die Abplattung der Erde. Diese, d. h. der Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Erddurchmesser, beträgt etwa $\frac{1}{300}$ des größten Durchmessers.

In den bisherigen Beispielen ist die stetige Kraft ein Widerstand, die hervorgebrachte Bewegung eine kreisförmige gewesen, die man auch Rotation nennt. Es giebt eine andere, unendlich wichtige Kraft in der Natur, welche Körper auf ähnliche Weise stetig nach einem bestimmten Punkte zieht; dann braucht die hervorgebrachte Bewegung nicht gerade kreisförmig zu sein; es wird aber von dem Zusammenwirken dieser Kraft mit der Beharruug dasselbe gelten, was oben gesagt ist. Ginge nemlich in einer sehr kurzen Zeit der Körper in Folge der Beharrung von A nach B und zöge ihn die stetige Kraft von A nach C so würde er nach derselben Zeit in D ankommen; von hier würde er in Folge des Beharrungsgesetzes von D nach E gehen, er wird aber von der stetigen Kraft nach F gezogen und kommt also nach G u. s. w. Da diese Kraft aber nicht ruckweise in A, D u. s. w., sondern fortwährend auf ihn wirkt, so wird auch der Körper keine gebrochene, sondern eine krumme Linie um den Punkt M beschreiben.

Fig. 10.



Jene Kraft, Gravitation, Schwere, Massenanziehung genannt, besteht nun zunächst darin, daß zwischen je zwei Körpern eine gegenseitige Anziehung Statt findet; dieselbe ist aber so unbedeutend, daß sie nur bei Körpern von so großer Masse, als die Himmelskörper sind, sichtbar wird, und selbst bei großen Gebirgen nur mittelst der feinsten Beobachtungen merklich ist. Von dieser Gravitation gilt: 1) sie steht in gleichem Verhältnisse mit der Masse; daher wird die Erde, deren Masse 75 mal so groß, als die des Mondes ist, bei gleicher Entfernung von der Venus, auch eine 75 mal so große Kraft auf dieselbe ausüben, als der Mond; 2) die Gravitation nimmt ab wie die Quadrate der Entfernung zunehmen; daher wird Merkur, dessen Entfernung von der Sonne etwa halb so groß ist, als die der Venus, von der Sonne 4 mal so stark angezogen, als Venus. Diese Kraft bewirkt nun als Centripetalkraft, daß sich die Planeten um die Sonne, der Mond um die Erde bewegen, und für diese Bewegungen hat Keppler folgende drei Gesetze gefunden, deren gemeinschaftliche Ursache später Newton in jener Gravitation nachgewiesen hat.

1) Die Planeten bewegen sich in Ellipsen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht. Diese Ellipsen nähern sich aber dem Kreise außerordentlich, so daß z. B. für die Erde der Abstand SM des Brennpunktes von dem Mittelpunkte der Ellipse nur $\frac{1}{60}$ der halben großen Achse MA, oder 347,000 Meilen beträgt.

2) Die Leitstrahlen beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume. Die Leitstrahlen sind nemlich gerade Linien, von S nach dem Umfange der Ellipse gezogen; wenn also ASB = CSD ist, so durchläuft der Körper die Bogen AB, CD in gleichen Zeiten. Nun ist es aber offenbar, daß die Bogen desto größer sind, je näher der Körper dem Punkte S oder der Sonne steht; folglich wird die Bewegung der Planeten desto schneller, je näher sie der Sonne stehen. Unsre Erde befindet sich nun der Sonne am nächsten, während wir, die Bewohner der nördlichen Halbkugel, Winter haben, und daher kommt es, daß das Sommerhalbjahr, während dessen die Erde von der Sonne am weitesten entfernt ist und daher langsamer geht, um mehrere Tage länger ist, als das Winterhalbjahr.

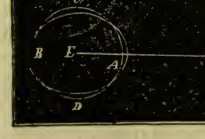
Fig. 11.

3) Die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten sich, wie die Kuben der mittleren Entfernungen. Die mittleren Entfernungen für Merkur und Erde verhalten sich etwa, wie 2 : 5, die Umlaufszeiten, wie 1 : 4; die Kuben jener Zahlen sind 8 und 125, die Quadrate dieser 1 und 16, deren Verhältnisse sehr nahe übereinstimmen. — Die in diesem § behandelte Bewegung, bei welcher der bewegte Körper von einer Kraft stets nach einem bestimmten Punkte gezogen wird, heißt Centralbewegung.

Die Gravitation zeigt sich auch in der Schwere im engeren Sinne, vermöge welcher die Körper zur Erde fallen. Dieselbe ist nun, wie schon oben bemerkt wurde, am Aequator schwächer, als in andern Breiten und namentlich an den Polen, und zwar 1) weil die Orte auf jenem weiter vom Mittelpunkte entfernt sind, als diese, 2) weil, wie oben gezeigt ist, die Schwungkraft, welche der Schwere entgegen die Körper von der Erde zu entfernen strebt, dort viel größer ist. Doch ist der ganze Unterschied nicht bedeutend.

Wir haben gesehen, daß die Bewegung des Mondes um die Erde eine Folge der gegenseitigen Anziehung zwischen Mond und Erde ist; eine andere Folge derselben zeigt sich auf der Erde selbst in der Ebbe und Fluth. Denkt man sich den Mond M, den Mittelpunkt der Erde in E, so wird A stärker, B schwächer, C und D ebenso stark von M angezogen, als E. Sind nun A und B flüssig und daher beweglich, so werden sie weiter von E entfernt sein, als dort befindliches Festland; und indem sich so das Wasser in A und B erhebt, muß es von C und D nach diesen Orten zufließen oder sinken; A und B werden also Fluth, C und D Ebbe haben. An den Ufern großer, offener Meere, z. B. der Nordsee, steigt in der That während 24 Stunden das Wasser regelmäßig zweimal und sinkt zweimal um mehrere Fuß, so daß Strecken des Ufers, welche zu der einen Zeit unter Wasser stehen, zu der andern trocken liegen; und zwar hängt dies genau mit dem Stande des Mondes zusammen. Da Ebbe und Fluth nicht auf der Größe der Anziehung, sondern auf

Fig. 12.



der Verschiedenheit derselben für die Punkte A, E und B beruhen, so ist es erklärlich, daß, obgleich die Anziehung zwischen Sonne und Erde viel größer ist, als die zwischen Mond und Erde, dennoch diese Erscheinungen vielmehr von dem Mond abhängen. Am bedeutendsten sind die Fluthen zur Zeit des Neu- und Vollmondes, wenn Sonne und Mond auf derselben oder auf entgegengesetzten Seiten der Erde stehen und daher vereint wirken. — Die ganze Erscheinung zeigt sich übrigens nur in größeren Wassermassen, zu denen das Wasser leicht zuströmen kann, nicht in Binnenmeeren, wie die Ostsee.

Geschichtliche Bemerkung zum 1. Abschnitt. In den älteren Zeiten meinte man, daß ein Körper, der zweimal so schwer ist, als ein anderer, auch zweimal so schnell fallen müßte. Diesen offenbaren Irrthum, der von Aristoteles ausgesprochen fast 2000 Jahre gelehrt wurde, widerlegte Galilei, indem er als Professor an der Universität Pisa 1590 in dem schiefen Thurme daselbst Körper von verschiedenem Gewichte herabfallen ließ, die fast gleichzeitig den Boden erreichten. Dadurch zeigte er, daß alle Körper an sich gleich schnell fallen. Auch die übrigen Fallgesetze hat er gefunden (1602) und später in einem 1638 erschienenen Werke: Gespräche über die Bewegung, ausführlich bewiesen. Er prüfte die Richtigkeit derselben, indem er Kugeln in einer langen, schiefgelegten Rinne rollen ließ, in der sie zwar langsamer gehen, aber doch denselben Gesetzen folgen. Später hat man auch Kugeln in hohen Thürmen aus verschiedenen Höhen herabfallen lassen und die Gesetze vollkommen bestätigt gefunden. In jenem Werke hat Galilei auch zuerst, wenn gleich freilich nicht mit der Klarheit und Entschiedenheit, wie später Newton, das Beharrungsgesetz ausgesprochen, ferner die Gesetze für die Wurfbewegung aufgestellt und bewiesen; der Widerstand der Luft ist dagegen erst viel später berücksichtigt worden. Ebenso hat er die Gesetze des Pendels aufgestellt und bewiesen. Das dritte Gesetz, daß ein und dasselbe Pendel seine Schwingungen in gleichen Zeiten macht, hatte er schon 1583 an einem schwingenden Kronleuchter im Pisaer Dome beobachtet, später aus Vergleichung mehrerer von verschiedener Länge das vierte. Auch benutzte er das zweite Gesetz, um zu zeigen, daß alle Körper gleich stark von der Erde angezogen werden. Das erste hat aber erst Newton aufgestellt. Besonders ist hier jedoch Huyghens (geb. 1629 zu Haag, hochverdient um Mathematik und Physik, gest. 1695) zu nennen, welcher sehr ausführliche mathematische Betrachtungen über das Pendel und über die Centralbewegung anstellte und zu der Vervollkommnung aller dieser Lehren über die Bewegung sehr viel beigetragen hat. Die Gesetze über die Bewegung der Planeten hatte Keppler durch äußerst mühselige und sorgfältige Vergleichung astronomischer Beobachtungen aufgefunden; sie heißen daher die Kepplerschen Gesetze. Daß sie aber ihren alleinigen Grund in derselben Gravitation haben, welche sich auch im Fall der Körper zeigt, hat erst Isaak Newton bewiesen. Die erste Idee dazu erhielt er (wie es heißt, durch einen fallenden Apfel angeregt) in einem Garten seines Geburtsortes, wohin er 1666 vor der Pest in Cambridge geflohen war. Er kam auf den Gedanken, daß dieselbe Ursache, durch welche die Körper zur Erde fallen, auch den Mond heranziehe und so gewissermaßen zur Erde fallen lasse. Eine gleiche Ursache bewirke vielleicht, daß die Planeten sich um die Sonne drehen; er hatte aber bereits aus den Kepplerschen Gesetzen gefunden, daß eine solche Kraft nach den Quadraten der Entfernung abnehmen müsse. Die angestellten Berechnungen wichen jedoch von der wirklichen Bahn des Mondes ab, weil man die Größe des Erddurchmessers und daher auch die daraus berechnete Entfernung des Mondes nicht genau kannte. Erst als nach 16 Jahren der Erddurchmesser genauer bestimmt

war, nahm Newton seine Rechnungen wieder vor und fand nun die vollkommene Uebereinstimmung zwischen seinem Gesetze und der Bewegung des Mondes; er war aber so aufgeregt von dieser Entdeckung, daß er nicht im Stande war, die Rechnung zu Ende zu bringen, sondern einen eintretenden Freund darum bitten mußte. Ebenso hat Newton auch die Gründe für die Abplattung der Erde, für Ebbe und Fluth hergeleitet. — Das Leben dieser großen Männer, durch deren Untersuchungen und Entdeckungen eine richtige Kenntniß der Natur begründet worden ist, verdient noch eine kurze Beschreibung. — Galileo Galilei, geb. 1564 in Pisa, Sohn einer vornehmen Familie, bezog 1581 die Universität Pisa, wo er sehr bald das Studium der Medicin mit dem der Physik und Mathematik vertauschte. Ebenda wurde er 1589 Professor der Physik. Seine oben erwähnten Versuche aber, welche den Aristotelischen Lehren entgegentraten, nöthigten ihn 1592 nach Padua zu flüchten, wo er Prof. der Mathematik wurde. Hier machte er sich ebenso berühmt durch die vielen Beobachtungen und Entdeckungen im Gebiete der Naturwissenschaft und Astronomie, als durch die Klarheit und Lebendigkeit seines Vortrages, durch welchen er Zuhörer aus den entferntesten Gegenden nach Padua zog. Am meisten steigerte sich sein Ruhm durch die vielen astronomischen Entdeckungen, die er seit 1609 mittelst des von ihm zusammengestellten Fernrohrs (§ 87) machte, so daß ihn 1610 der Großherzog von Toskana Cosmo II. zu sich berief. Von da an lebte er größtentheils in Florenz. Er war ein Anhänger des Copernikanischen Weltsystems, nach welchem sich die Erde sowohl um sich selbst, als auch, wie die übrigen Planeten, um die Sonne dreht. Da dasselbe jedoch der heil. Schrift zu widersprechen schien, so hatte er viele Anfechtungen von den Jesuiten und Päbsten zu erdulden. Da er nun jenes System nicht offen zu lehren wagte, so suchte er einen Ausweg, indem er in Form eines Gespräches die Gründe für und gegen das neue System zusammenstellte, ohne selbst eine Entscheidung zu fällen. Dennoch zog ihm dies Buch, welches 1632 in Druck erschien, heftige Verfolgungen zu, und er mußte als schwächlicher Greis von 70 Jahren 1633 in Rom seine Ansichten als ketzerische Irrthümer abschwören. Die Sage von anderweitiger grausamer oder auch nur harter Behandlung ist unerwiesen. In den letzten Jahren lebte er wieder in Florenz und stellte hier in dem oben angeführten Werke jene Gesetze über die Bewegung auf, welche die Grundlage der gesammten Mechanik bilden. Darum kann er mit Recht der Vater der neuern Physik genannt werden. Seit 1637 auf beiden Augen blind, starb er 1642. — Johannes Keppler, geb. am 27. Dec. 1571 im Dorfe Magstadt bei Weil in Würtemberg. Sobald er sich mit Astronomie zu beschäftigen anfing, hegte sein lebhafter Geist die Ueberzeugung, daß in diesen Himmelserscheinungen in jeder Beziehung die größte Gesetzmäßigkeit herrschen müsse. Diese Gesetze zu finden, war sein unermüdliches Streben, von dem er sich durch unzählige verunglückte Versuche, die monatlange Rechnungen nöthig machten, nicht abbringen ließ. Zeigte sich das Irrthümliche eines Gedankens, so wußte sein phantasiereicher Geist eine andre Hypothese aufzufinden, die er mit gleicher Ausdauer der Prüfung durch Rechnung unterwarf. So hat er 22 Jahre lang nach dem dritten seiner Gesetze gesucht, fest überzeugt, daß ein ähnlicher Zusammenhang Statt finden müsse. Fast zu derselben Zeit, als er es (1618) fand, mußte er seine der Zauberei angeklagte Mutter von dem Scheiterhaufen retten. Er lebte als Professor der Mathematik in Grätz, Prag, Linz, Rostock, hat aber überall ein sehr kummervolles Leben geführt, den äußersten Nahrungssorgen während des 30jährigen Krieges und auch anderm häuslichem Unglück Preis gegeben. Er starb 1630 zu Regensburg. — Isaak Newton, geb. 25. Dec. 1642 in dem Dorfe Woolsthorpe in Lincolnshire, war der Sohn eines Landmannes und von sehr schwächlicher Constitution. Vom 12. bis 16. Jahre besuchte er eine kleine

Stadtschule; hier zog er sich von den übrigen Knaben sehr zurück und beschäftigte sich in den Freistunden vorzüglich mit mechanischen Arbeiten. Dann kehrte er zu seiner Mutter zu ländlicher Beschäftigung, dem Hüten der Heerden, dem Verkauf von Viktualien ꝛc. zurück. Diesen Aufträgen wandte er jedoch wenig Aufmerksamkeit zu, suchte dagegen stets Bücher zu erlangen. Daher ließ ihn ein ihm verwandter Geistlicher der Nachbarschaft auf seine Kosten studiren. Newton kam 1660 ohne sonderliche Vorkenntnisse nach Cambridge und widmete sich sogleich der Mathematik mit großer Vorliebe; doch verschmähte er den Euklid, der zu leicht sei, und studirte sehr bald die schwierigsten Werke. Hier erwarb er sich solchen Ruhm, daß er 1669 Professor der Mathematik wurde. Damit er sich seinen Studien ganz hingeben könne, übernahmen seine Kollegen alle äußeren Geschäfte für ihn, während er 35 Jahre lang fast nie die Mauern der Universität verließ. Mit edlem Freimuthe vertheidigte er die Rechte der Universität gegen Jakob II. und wurde darauf 1688 zum Abgeordneten der Universität für das Parlament gewählt. Er bezog übrigens ein sehr kärgliches Gehalt. Erst unter der Regierung Wilhelms III. wurde er durch seinen Gönner Lord Montague 1695 Münzwardein und 1699 Münzmeister mit einem sehr reichlichen Einkommen. Seit 1703 war er Präsident der kön. Akademie. Als er 1727 gestorben war, wurde sein Leichnam auf einem Prachtbette in der Jerusalemskirche ausgesetzt, das Trauertuch wurde von den edelsten Lords gehalten und die Leiche in der Westminsterabtei beigesetzt, wo seine Grabstätte folgende Inschrift trägt: „Hier ruht Isaak Newton, welcher von einer fast übermenschlichen Geisteskraft die Bewegungen und Gestalten der Planeten, die Bahnen der Kometen, die Fluth des Weltmeeres mit dem Lichte, welches ihm die Mathematik lieh, zuerst bewies; der die Verschiedenheit der Lichtstrahlen und die Eigenschaften der daraus hervorgehenden Strahlen, die Niemand vor ihm je geahnt, ergründet; der als ein unermüdlicher, scharfsinniger, treuer Forscher der Natur, des Alterthums und der heiligen Schrift die Hoheit Gottes auf wissenschaftlichem Wege verkündete, christliche Einfalt durch seinen Charakter bewährte. Möge die Menschheit sich freuen, daß eine solche Zierde ihres Geschlechtes gelebt habe. Geb. am 25. Dec. 1642, gest. 20. März 1727“. Er war nie verheiratet.

Zweiter Abschnitt.

Mechanische Erscheinungen der Körper im besondern.

§ 8. Die Aggregatszustände der Körper.

Bis jetzt haben wir die Einwirkung der Schwere im allgemeinen betrachtet; jetzt wollen wir die Körper selbst berücksichtigen und die Hauptverschiedenheiten derselben aufsuchen. Zunächst kennt Jeder den Unterschied zwischen Holz, Stein, Eisen und Wasser, Oel, Spiritus. Jenes sind feste Körper mit einer bestimmten Gestalt, dieses Flüssigkeiten, die stets die Gestalt des Gefäßes annehmen und ohne ein solches Hinderniß auseinanderfließen. Dieses Auseinanderfließen ist nun zwar eine Folge der Schwere, wie sich leicht dadurch ergiebt, daß in einem offenen Gefäße das Wasser nicht nach oben fließt; aber es ist daraus ersichtlich, daß sich die einzelnen Theile einer Flüssigkeit leicht

an einander verschieben lassen, während die der festen Körper zusammenhalten und in einer bestimmten Lage verbleiben. Wollen wir aber aus einem Gefäße nur eine ganz kleine Menge Wassers behutsam ausfließen lassen, so sammelt sich dies erst zu einem Tropfen, ehe es herabfällt. Daher nennt man diese Körper auch tropfbarflüssig. Außerdem giebt es aber noch einen Körper, der uns bei den bisherigen Betrachtungen durch seinen Widerstand störend geworden ist, die Luft. Um den Hauptunterschied zwischen ihr und den übrigen Körpern zu finden, denken wir uns etwa ein Pennal, in dem nur Luft enthalten ist, aufgezogen, ohne es zu öffnen. Dann bleibt die Luft nicht etwa unten, sondern sie dehnt sich über den ganzen Raum aus und füllt ihn an. Die Theile der Luft haben also das Bestreben, sich von einander zu trennen und folgen demselben, soweit ihnen Raum dazu gelassen wird; die Luft nimmt daher auch keinen bestimmten Raum ein, derselbe ist vielmehr ebenso veränderlich, als die Gestalt des Wassers. Die Größe des Raumes aber, den ein Körper einnimmt, heißt sein Volumen; man kann daher sagen, daß die Luft ein veränderliches Volumen habe. Ebenso, wie die Luft, verhalten sich mehrere andre Körper, die aber für gewöhnlich nicht sichtbar werden; sie heißen insgesammt luftförmige Körper, und zu ihnen gehören alle diejenigen, welche man Gase zu nennen pflegt (§ 35—38). — Nach dem Vorigen können wir nun folgende Unterschiede aufstellen:

1) Feste Körper sind solche, bei denen Volumen und Gestalt unveränderlich sind;
2) tropfbar flüssige Körper sind solche, bei denen das Volumen unveränderlich, die Gestalt veränderlich ist;
3) luftförmige Körper sind solche, bei denen Volumen und Gestalt veränderlich sind.

Die Theile fester Körper halten daher zusammen und bleiben in bestimmter Lage; die der flüssigen lassen sich leicht verschieben, bilden aber in kleinen Mengen Tropfen; die der luftförmigen suchen sich von einander zu entfernen. Jene Eigenschaft der festen Körper, in ihren einzelnen Theilen zusammenzuhalten, schreibt man einer besonderen Kraft, der Cohäsion zu; ebenso schreibt man das Bestreben der einzelnen Theile luftförmiger Körper, sich von einander zu entfernen, einer andern Kraft, der Expansivkraft, zu, und daher kann man sagen:

in festen Körpern ist die Cohäsion überwiegend, in tropfbar flüssigen Körpern hat weder die Cohäsion, noch die Expansivkraft das Uebergewicht, in luftförmigen Körpern hat die Expansivkraft das Uebergewicht.

Da aber ein und derselbe Körper, z. B. Wasser, bald flüssig, bald, wie im Eise, fest, bald, wie im Wasserdampfe, luftförmig sein kann, so bezeichnet man durch jene drei Wörter: fest, flüssig, luftförmig, nicht sowohl drei Arten von Körpern, sondern vielmehr drei verschiedene Zustände, in denen die Körper vorkommen können, und nennt dieselben die drei Aggregatszustände der Körper.

Erste Abtheilung. Mechanische Erscheinungen fester Körper.

§ 9. Feste Körper im allgemeinen.

Wir beschäftigen uns nun zunächst mit den festen Körpern. Unter ihnen bemerken wir große Unterschiede; so zeigen Eisen, Holz, Butter sehr verschiedene Festigkeit, die von der größeren oder geringeren Cohäsion abhängt; um dieselbe zu verstärken, sucht man oft die einzelnen Theile näher an einander zu bringen; darum walkt man Tuche, hämmert das Eisen. Man unterscheidet *weiche* und *harte* Körper; jene sind solche, die beim Drucke der Hand ihre Gestalt verändern, z. B. Butter, Wachs, Tuch; die anderen nennt man harte Körper. *Spröde* sind solche Körper, die sich *schwer biegen*, aber *leicht zerbrechen* lassen, z. B. Glas; *zähe* solche, die sich *leicht biegen*, aber *schwer zerbrechen oder zerreißen* lassen, z. B. Leder; dann nennt man *weich* im engeren Sinne Körper, die sich *leicht biegen* und *brechen oder zerreißen* lassen, und *hart* diejenigen, die sich *schwer biegen* und *brechen* lassen. — Eine andre Eigenschaft fester Körper, die sich besonders am Gummi, Stahl, Elfenbein zeigt, ist die *Elasticität*. Sie zeigt sich darin, daß *die einzelnen Theile eines Körpers, aus ihrer gegenseitigen Lage gebracht, in dieselbe zurückzukehren streben*. Da flüssige und luftförmige Körper keine bestimmte Gestalt haben, so kann auch bei ihnen von Elasticität im gewöhnlichen Sinne nicht die Rede sein. — An gewissen Körpern, z. B. Schwamm, Brot ꝛc. bemerken wir schon mit bloßen Augen Zwischenräume, die man *Poren* nennt; die Eigenschaft der Körper, Poren zu haben, heißt *Porosität*. Dieselbe zeigt sich auch, wo wir keine Poren sehen, dadurch, daß fremde Substanzen hindurchdringen, oder daß Körper, indem fremde Substanzen in dieselben eingedrungen sind, aufquellen. So dringt Oel durch viele Papierblätter, der Staub durch die Kleider, Holz quillt bei feuchtem Wetter auf u. A. — Durch die Porosität wird es unmittelbar klar, warum Körper, die dasselbe *Volumen* haben, doch ein sehr verschiedenes Gewicht haben. Man muß nemlich den *Raum, den ein Körper äußerlich einnimmt, von der Menge der Materie* unterscheiden, *aus der der Körper besteht*. Diese letztere heißt *Masse*. Weil aber die Schwere an demselben Orte fau alle Körpertheile gleich stark einwirkt, so wird das Gewicht eines Körpers in demselben Verhältnisse wachsen müssen, wie seine Masse; man bestimmt daher die Masse der Körper durch das Gewicht, während das Volumen durch Körpermaße gemessen wird. Haben nun zwei Körper gleiches Volumen, d. h. gleiche Größe, z. B. 1 Kubikzoll Eisen und 1 Kubikzoll Holz, dagegen verschiedene Masse oder Gewicht, so ist der schwerere auch der dichtere.

Gewöhnlich bestimmt man die Dichtigkeit der Körper, indem man sie mit dem reinen oder destillirten Wasser vergleicht. Findet man nun, daß 1 Kbkz. Blei 11 mal so schwer, als 1 Kbkz. Wasser ist, so ist auch die Dichtigkeit des Bleies 11 mal so groß, als die des Wassers, und man nennt dann die Zahl 11 das *specifische Gewicht des Bleies*. *Das specifische Gewicht eines Körpers*

ist also die unbenannte Zahl, welche angiebt, wie viel mal so schwer derselbe ist, als ein ihm gleiches Volumen Wasser. Den Druck dagegen, den ein Körper auf seine horizontale Unterlage ausübt, und den wir nach Pfunden, Lothen ꝛc., also durch benannte Zahlen bestimmen, nennt man zum Unterschiede davon das absolute Gewicht des Körpers. Diese Unterschiede von specifischem und absolutem Gewichte beziehen sich, wie hieraus ersichtlich, nicht blos auf feste, sondern auch auf die andern Arten von Körpern. Die leichteste, wenn auch minder genaue Methode, um das specifische Gewicht fester Körper zu bestimmen, ist folgende: a) Man wiegt den Körper, b) man tarirt ein ganz mit Wasser gefülltes Gefäß, c) man legt den Körper in das Gefäß, derselbe wird Wasser verdrängen; man wischt das Gefäß ganz rein ab und sieht, wie viel man jetzt der Tara zulegen muß; d) der Unterschied zwischen a und der Zulage bei c giebt das Gewicht des verdrängten Wassers; das Verhältniß zwischen a und d ist das specifische Gewicht des Körpers. — Um das specifische Gewicht flüssiger Körper zu bestimmen, tarirt man ein Gefäß, a) wiegt das Wasser, mit dem man das Gefäß ganz gefüllt hat, b) wiegt die Flüssigkeit, mit der man dasselbe Gefäß gefüllt hat; das Verhältniß von a und b giebt das spezifische Gewicht der letzteren. Andere Methoden werden später (§ 21.) Erwähnung finden, ebenso wird an einem andern Orte (§ 32.) von dem specifischen Gewichte der luftförmigen Körper die Rede sein.

Anm. Das specifische Gewicht für Platina ist 21, Gold 19, Queckfilber $13\frac{1}{2}$, Blei 11, Silber $10\frac{1}{2}$, Kupfer $8\frac{1}{2}$—9, Eisen 7—8, Zinn und Zink 7, Alkohol $\frac{4}{5}$, Kork $\frac{1}{4}$.

Gesch. Bem. Auf die oben angegebene Weise scheint nach der Erzählung des Vitruv Archimedes (Gesch. B. zu § 17) verfahren zu sein, als ihm der König Hiero die Aufgabe gestellt hatte, den Goldgehalt einer Krone zu prüfen, bei welcher er durch den Verfertiger betrogen zu sein glaubte. Als Archimedes nemlich einst in die Badewanne steigend darauf achtete, daß soviel überfloß, als er verdrängte, erkannte er, daß ihm dies zur Auflösung der gestellten Aufgabe dienen könnte. Er untersuchte nemlich, wie viel Wasser ein bestimmtes Gewicht Gold, und wie viel ein gleiches Gewicht Silber verdränge, und verglich damit das von der Krone verdrängte Wasser, wodurch er den Gold- und Silbergehalt bestimmen konnte.

Erstes Kapitel.

Wirkung der Schwere auf die festen Körper.

§ 10. Der Schwerpunkt.

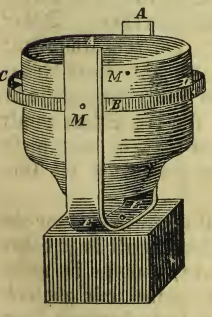
Hängt man ein dünnes beliebig gestaltetes Bret bald in diesem, bald in jenem Punkte seines Umfanges an einem Faden auf, so wird die Verlängerung des Fadens, die man auf dem Bret zeichnen kann, stets durch ein und denselben Punkt gehen. Ebenso giebt es für jeden festen Körper einen Punkt, welcher Schwerpunkt heißt, von der Beschaffenheit, daß bei seiner Unterstützung der ganze Körper in Ruhe bleibt. Derselbe liegt gewöhnlich in der Mitte

des Körpers, mehr nach den schwereren Stellen zu. Im menschlichen Körper befindet er sich im Unterleib. Damit nun ein Körper ruhe, muß eine lothrechte Linie durch den Schwerpunkt die Unterstützung treffen. Ist dieses nicht der Fall, so bewegt sich der Körper so lange, bis der Schwerpunkt den tiefsten Stand erreicht, den er von der Erde angezogen einnehmen kann. Ist ein Körper um einen festen Punkt oder eine feste Achse drehbar, so kann 1) der Schwerpunkt in diesem Punkte oder dieser Achse liegen; dann bleibt der Körper in jeder Lage in Ruhe; dies findet z. B. bei Zugbrücken, bei der Aufhängung astronomischer Fernröhre Statt. 2) Der Drehpunkt kann sich über dem Schwerpunkt befinden; dann kehrt der Körper, z. B. eine aufgehängte Kugel, Tafel, ꝛc. zur Seite bewegt, von selbst in seine frühere Lage zurück; daher sagt man in diesem Falle, der Körper befinde sich im sicheren Gleichgewichte. Daher fallen die Sägemänner der Kinder, angestoßen, nicht herab, weil der Schwerpunkt wegen der schweren Kugel sich unter dem Unterstützungspunkte befindet; ebenso kann man einen Kork (Fig. 13.), in den man kreuzweise vier abwärts gerichtete Gabeln gesteckt hat, auf eine Nadel stellen und herumdrehen, ohne daß er fällt, und eine Gabel (Fig. 14.) unter einem schiefen Winkel in den Propfen einer Flasche gesteckt, kann man auf den Finger legen, ohne daß das Ganze herunterfällt. Wichtiger ist die Art der Aufhängung des Compasses (Fig. 15.), die man auch in manchen Küchenlampen findet. Ein Ring CBD ist zwischen zwei festen Stäben um die Achse MM drehbar; in diesem Ringe hängt, um die Achse CD drehbar, das Gehäuse, in welchem sich der Compaß befindet; der Schwerpunkt des Gehäuses liegt unten und sucht demselben eine lothrechte Lage zu geben, was bei allen Schwankungen des Schiffes leicht geschehen kann, da bei jeder Verrückung der vorderen oder hinteren Seite das Gehäuse sich um CD, bei jeder Erhebung der rechten oder der linken Seite der Ring sich um MM drehen kann.

Fig. 13.

Fig. 14.

Fig. 15.

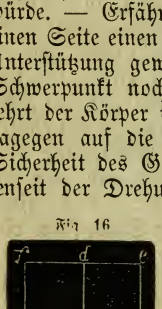


3) Befindet sich der Drehpunkt lothrecht unter dem Schwerpunkt, so kann der Körper zwar auch nicht fallen; bei der geringsten Verrückung wird aber der Körper sich herumdrehen so lange, bis er die in 2. angegebene Lage einnimmt: man sagt, er befinde sich im unsicheren Gleichgewichte*). Wenn ein

*) Genauer sagt man: ein Körper befindet sich im sicheren Gleichgewichte, wenn sein Schwerpunkt bei einer sehr kleinen Verrückung eine höhere Lage einnimmt, als vorher; im unsichern, wenn der Schwerpunkt eine tiefere Lage

Körper auf dem Boden ruht, so ist seine Unterstützung gewöhnlich nicht ein Punkt, sondern eine Fläche, bestimmt durch die geraden Linien, welche die äußersten Punkte verbinden, in denen der Körper die Unterlage berührt. Liegt nun der Schwerpunkt lothrecht über dieser Fläche, so ist der Körper in Ruhe; deswegen stehen die schiefen Thürme in Pisa und Bologna fest, indem ihr Schwerpunkt noch senkrecht über der Grundfläche liegt. Man muß daher den Schwerpunkt immer senkrecht über die Unterstützungsfläche zu bringen suchen, sich also beim Tragen von Lasten, welche den Schwerpunkt verrücken, nach der entgegengesetzten Seite neigen, beim Besteigen der Berge sich nach vorn, beim Herabsteigen nach hinten neigen. Dagegen kann man, mit den Hacken beider Füße an der Wand stehend, sich nicht nach vorn bücken, mit der rechten Seite und dem rechten Fuße genau die Wand berührend nicht den linken in die Höhe heben, ohne zu fallen, nicht langsam von einem Stuhle aufstehen, ohne die Füße unter den Stuhl zu ziehen, weil in allen drei Fällen sich der Schwerpunkt des Körpers nicht über der Unterstützungsfläche befinden würde. — Erfährt ein Körper, z. B. ein Wagen, ein Tisch, an der einen Seite einen Stoß, so daß er sich an derselben hebt, so besteht seine Unterstützung gewöhnlich in einer Drehungskante; so lange nun der Schwerpunkt noch auf derselben Seite der Drehungskante bleibt, so kehrt der Körper in seine frühere Lage zurück; kommt der Schwerpunkt dagegen auf die andre Seite, so fällt der Körper. Daher wird die Sicherheit des Gleichgewichts desto größer sein, je später der Körper jenseit der Drehungskante fällt. Haben nun die Körper ae und ad ihre Schwerpunkte in s und t, so wird der erstere um den Winkel saf, der andere nur um taf gedreht werden dürfen, ehe sie umfallen; und läge der Schwerpunkt von ae in u statt in s, so ließe sich dieser Körper sogar um den Winkel uaf drehen. Die Sicherheit wird also vermehrt 1) durch die Größe der Unterstützungsfläche, 2) durch die tiefe Lage des Schwerpunktes. Daher sind breitspurige Wagen sicherer vor dem Umfallen; man steht sicherer breitbeinig, als auf einem Fuße; man kann wegen der schmalen Unterstützungsfläche sehr schwer auf Stelzen stehen. Um den Schwerpunkt zu erniedrigen, packt man die schwersten Sachen am tiefsten; man gießt den Fuß der Schiebelampen mit Blei aus. Dagegen wächst die Gefahr des Fallens mit der Höhe der Ladung.

Fig. 16

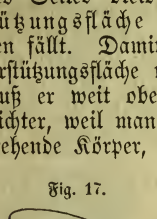


Bei unserem Gehen und Laufen liegt die Unterstützung abwechselnd unter dem linken und rechten Fuße; der Schwerpunkt liegt daher bald rechts, bald links von der Unterstützungsfläche, und so ist unser Gehen ein abwechselndes Fallen und Unterstützen, wobei wir zugleich den Körper ein wenig bald nach rechts, bald nach links bewegen; am deutlichsten sieht man dies an Kindern, die erst laufen lernen, an mar-

einnimmt. In jenem Falle kehrt der Körper in seine frühere Lage zurück, in diesem nicht.

schirenden Soldaten; daher müssen zwei Personen, die Arm in Arm neben einander gehen, Schritt halten, weil sie sich stören würden, wenn sie ihre schwankende Bewegung nicht gleichzeitig nach derselben Seite machten. Auch das Gehen auf dem Seile und das Balanciren beruhen hierauf. Die Bewegung der Balancirstangen oder die des Körpers, besonders der Hände, dient dazu, den Schwerpunkt so zu verrücken, daß er immer über der schmalen Unterstützungsfläche des Seiles bleibe. Beim Balanciren dagegen wird die Unterstützungsfläche verrückt, wenn der Schwerpunkt auf eine Seite derselben fällt. Damit nun der Schwerpunkt durch die Bewegung der Unterstützungsfläche nicht zugleich nach derselben Seite geschoben werde, muß er weit oben liegen. Auch balancirt sich ein schwerer Körper leichter, weil man seinen Schwerpunkt leichter herausfühlt, ebenso sich drehende Körper, weil der Schwerpunkt S, auch wenn er nicht unterstützt ist, indem er einen Kreis um M beschreibt, auf der einen Seite wieder um so viel steigt, als er auf der andern Seite gefallen ist, und den Körper bald auf die eine, bald auf die andre Seite zieht. Dasselbe zeigt sich bei dem Kreisel und den Drehscheiben der Kinder u. A. In diesen Fällen kann der sich drehende Körper nicht fallen, so lange er sich noch schnell genug dreht, um den Schwerpunkt auf die andre Seite des Unterstützungspunktes zu bringen.

Fig. 17.



Der Druck, den ein Körper ausübt, vertheilt sich auf alle die Punkte, in denen der Körper die Unterlage berührt; je weniger solcher Punkte da sind, desto größer ist der Druck auf jede einzelne Stelle; wenn daher die Unterlage nicht fest genug ist, muß man die Menge der Berührungspunkte vermehren. Darauf beruhen die Gartenstühle, die Schneeschuhe der Lappländer, die Schlittenkufen; daher muß man auf schwachem Eise kriechen statt zu gehen, oder durch lange Breter, auf denen man geht, den Druck auf mehrere Stellen zu vertheilen suchen.

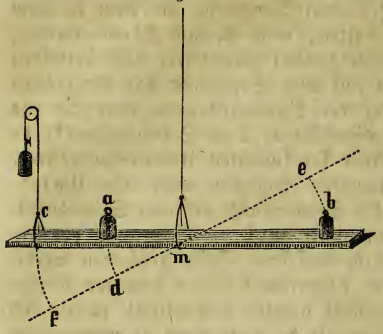
Zweites Kapitel.

Maschinen, welche auf dem Hebel beruhen.

§ 11. Der Hebel.

Hängt man einen Zollstock in der Mitte in einer Schleife auf, so ist er in Ruhe, weil sein Schwerpunkt unterstützt ist; dasselbe geschieht, wenn man auf beiden Seiten in gleicher Entfernung ein gleiches Gewicht auffetzt. Schiebt man eines derselben weiter, so senkt sich diese Seite; das Gewicht wirkt also stärker, je mehr es sich von dem Aufhängepunkte entfernt. Es liege 6″ weit von m ein Gewicht von 2 Quentchen, so muß man auf der andern Seite 1 Qu. bis auf 12″, 3 Qu. auf 4″, 12 Qu. auf 1″ schieben und in einer Entfernung von 3 Zoll 4 Qu. auflegen, um den Zollstock in horizontaler Lage

Fig. 18.



zu erhalten. Der Zollstock stellt hier einen Hebel vor, m heißt der Drehpunkt, die Theile ma und mb des Zollstockes von m bis zu den Gewichten heißt die Arme des Hebels; übrigens ist klar, daß statt der Gewichte jede andre lothrecht herabziehende Kraft angewendet werden kann. Vergleichenwir jetzt die oben gefundenen Zahlen, so finden wir, so oft die Kraft links in der Kraft rechts enthalten ist, ebenso oft ist die Länge des rechten Armes in der des linken enthalten, oder

1) wenn der Hebel in Ruhe ist, verhalten sich die Kräfte umgekehrt, wie die Arme;

ferner ist leicht zu sehen, daß, wenn man finden will, welches Gewicht in der Entfernung von einem Zolle nothwendig ist, um eine gleiche Wirkung, wie die oben bezeichnete, hervorzubringen, man die unbenannten Maaßzahlen für Gewicht und Armeslänge multipliciren muß; dieses Product aus der Kraft in die Armeslänge nennt man das statische Moment, und dann läßt sich das obige Gesetz auch so aussprechen:

wenn der Hebel in Ruhe ist, sind die statischen Momente für beide Arme gleich.

Denken wir uns jetzt in c eine Kraft, welche den Zollstock in die Höhe zieht, so wird auch hier das ziehende Gewicht von 2 Qu. in der Entfernung von 6″ ebensoviel wirken, als das drückende Gewicht von 4 Qu. in der Entfernung von 3″, und der Hebel in Ruhe sein. Man nennt auch hier die Längen ma und mc die Hebelarme; und dann gilt das obige Gesetz auch hier. Jener Hebel heißt ein zweiarmiger, dieser ein einarmiger. Aus dem Vorigen ist nun sichtbar, daß man mit Hülfe des Hebels im Stande ist, durch eine kleine Kraft in b oder c (Fig. 18.) einer größeren in a das Gleichgewicht zu halten; diese Kraftersparniß heißt mechanischer Vortheil. Den Druck der beiden Gewichte muß übrigens im ersten Falle der Aufhängepunkt tragen, so daß derselbe einen Druck erfährt, der gleich der Summe beider Gewichte ist; im zweiten Falle dagegen drücken zwar auch 4 Qu. nach unten, 2 Qu. ziehen aber den Hebel nach oben, so daß der Drehpunkt nur einen Druck erfährt, der gleich 2 Qu. oder dem Unterschiede beider Gewichte gleich ist. Daraus ergiebt sich (für parallel wirkende Kräfte):

2) Der Druck im Drehpunkt ist bei einem zweiarmigen Hebel gleich der Summe, bei einem einarmigen gleich dem Unterschiede beider Kräfte.

Dreht man jetzt den Hebel um m (Fig. 18.), so zeigen die Bogen ad, be, cf die Wege an, welche die Punkte a, b, c in gleicher Zeit beschreiben. Nun ist sichtbar, daß be und cf zweimal so lang sind,

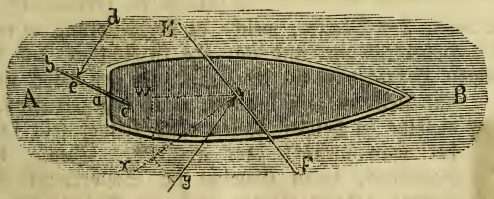
als ad, daß also die Geschwindigkeit der Punkte b und c doppelt so groß ist, als die des Punktes a; es wird also durch eine große Bewegung in b oder c nur eine kleinere in a hervorgebracht. Dieser Verlust an Geschwindigkeit heißt mechanischer Nachtheil. Man sieht, daß, wenn mb 2 oder 3 mal so groß, als ma ist, das Gewicht in a 2 oder 3 mal so groß sein muß, als in b, die Geschwindigkeit in a dagegen nur $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{3}$ der Geschwindigkeit des Punktes b ist, oder

3) man gewinnt an Kraft, was man an Weg verliert, und umgekehrt.

Der Zollstock war die einfachste Art des Hebels. Ein Hebel kann aber auch krummlinig sein oder einen Winkel (Fig. 19.) bilden (Winkelhebel, z. B. an Klingelzügen, Klinken, Schwingen in Kunstgestängen ꝛc.). Ein Hebel ist überhaupt ein Körper, der um eine feste Achse drehbar ist und den zwei Kräfte nach entgegengesetzter Richtung zu drehen streben. Liegen für parallele Kräfte die Punkte, in welchen diese wirken, (Angriffspunkte) auf entgegengesetzten Seiten der Achse, so heißt der Hebel zweiarmig, liegen sie auf derselben Seite, einarmig. Die Länge der Arme wird durch die Entfernung der Achse von der Richtung der Kräfte bestimmt. — Oben war nur von zwei Kräften die Rede, ebenso gut können aber mehrere Kräfte an einem Hebel wirken; es ist aus dem Obigen klar, daß die Wirkung jeder Kraft durch ihr statisches Moment bestimmt wird, der Hebel wird also in Ruhe sein, wenn die Summe der statischen Momente für die Kräfte, welche den Körper nach der einen Richtung zu drehen suchen, der entsprechenden Summe für die entgegengesetzt wirkenden Kräfte gleich ist. Auf diese Weise kann man auch das Gewicht des Hebels berücksichtigen, welches man als eine im Schwerpunkt wirkende Kraft zu denken hat. — Der Hebel findet unzählige Anwendungen im gewöhnlichen Leben. Als zweiarmige Hebel dienen die Schaukel, der Stab über die Schulter, an dem eine Last getragen wird, der Pumpenschwengel, der Hebebaum, wenn ein Stein oder ein Klotz untergelegt ist, das Grabscheit; als eine Verbindung zweier zweiarmiger Hebel die Zange, die Scheere, deren verschiedene Einrichtung, z. B. als Papierscheere und Blechscheere, sich für den verschiedenen Gebrauch nach dem Ge-

Fig. 19.

Fig. 20.



setze des Hebels sehr leicht erklärt. Auch das Steuerruder gehört hierher. In a (Fig. 20.) ist der Drehpunkt; das auf cb in der Richtung ed drückende Wasser treibt, so lange die Hand in c das Steuer festhält, das letztere und dadurch das Hintertheil des Schiffes von vorn nach hinten herum, so daß sich das Schiff nach der Seite dreht, die der Drehung des Steuers entgegengesetzt ist. — Einarmige Hebel sind die Karre, die Tabacksschneide, die Wurfschaufel, bei welcher die dem Körper zunächst liegende Hand den Drehpunkt bildet, der Hebebaum, wenn man ihn gegen die Erde stemmt. Auch das Ruder kann hierher gerechnet werden, der Drehpunkt liegt im Wasser, welches einen Widerstand w leisten muß, der gleich dem Unterschied des von dem Boote ausgeübten Widerstandes q und der von dem Ruderer angewendeten Kraft p ist. Da aber der Ruderer mit der entgegengesetzten Kraft p das Boot zurückdrückt, so wird das letztere in der That nur mit der Kraft $q - p = w$ fortbewegt. Damit nicht zugleich eine Drehung erfolge, muß das Steuer oder ein zweites Ruder auf der andern Seite wirken. Eine Zusammensetzung zweier einarmiger Hebel ist die Trage. Die Hände des einen Trägers sind jedesmal der Unterstützungspunkt für die Last und die Kraft des andern. Liegt also eine Last A von 15 Pfund so auf der Trage, daß ihre Entfernung von B doppelt so groß ist, als die von C, so wird, C als Unterstützungspunkt angenommen, B 5 Pfd. zu tragen haben, und C als Unterlage den Unterschied, einen Druck von 10 Pfd. erleiden. Dasselbe ergiebt sich, wenn man B als Unterstützung ansieht, da sich dann BA : BC = 2 : 3 verhält. Als Winkelhebel dient außer den oben erwähnten Beispielen auch der Hammer, den man zum Ausziehen der Nägel gebraucht; ferner beruht darauf zugleich die Stabilität der Körper, d. h. die Sicherheit, mit der ein Körper in seiner Stellung verharrt oder der Widerstand, den er vermöge seiner Schwere der umwerfenden Kraft entgegensetzt. Denkt man sich zwei Blöcke A und B aufgestellt, und eine in der Richtung bc stoßende oder ziehende Kraft, so strebt dieselbe, den Körper um die Kante d zu drehen; ihr entgegenwirkt die Schwere des Blockes, welche in der Richtung ef wirkt; dann sind also die Hebelarme db und dg. Es ist sichtbar, daß für A wegen des langen Hebelarmes db die Kraft, um den Block umzuwerfen, nur klein zu sein braucht, in B dagegen groß, daß aber dieselbe in beiden Fällen desto kleiner sein kann, je höher man anstößt oder angreift. Ebenso leistet eine Fallthüre, deren Gewicht im Schwerpunkt b lothrecht ziehend gedacht werden muß, im Anfang wo der Hebelarm ab ist, den größten Widerstand, der später aber, wo

Fig. 21.

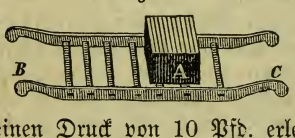


Fig. 22.

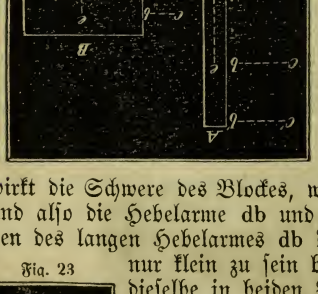


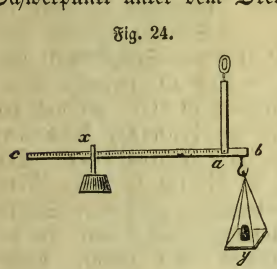
Fig. 23

der Hebelarm immer kleiner wird, wie etwa af, immer mehr abnimmt. — Auch die Glieder des thierischen Körpers sind einarmige Hebel, deren Drehpunkt im Gelenk ist; die Kraft wird durch die Muskeln ausgeübt, welche unter einem sehr spitzen Winkel und nahe dem Gelenk an die Knochen befestigt sind; daher ist dieser Hebelarm sehr klein. Ist nun an dem andern Ende eine Last, will man z. B. Etwas mit der Hand heben, so hat der Muskel, indem er sich zusammenzieht, eine außerordentlich große Kraft anzuwenden. Es ist also bei dieser Einrichtung besonders darauf gesehen, durch eine kleine Bewegung im engen Raume mittelst einer bedeutenden Kraftanstrengung eine große Bewegung hervorzubringen.

§ 12. Die Wagen.

Eines der wichtigsten Instrumente, welches auf den Gesetzen des Hebels beruht, ist noch übergangen, die Wage, welche dazu dient, das Gewicht der Körper zu bestimmen. Da die zu wägende Last veränderlich ist, muß noch etwas Andres an dem Hebel veränderlich sein, damit er im Gleichgewicht sei. Die Verschiedenheit der folgenden Arten von Wagen beruht nun darauf, welche Größe veränderlich sei; bei allen muß aber, damit sie sich im sichern Gleichgewichte befinden, der Schwerpunkt unter dem Drehpunkte liegen.

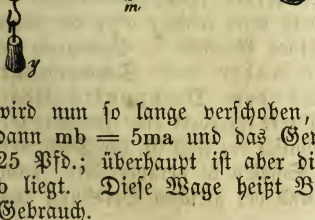
Fig. 24.



1. Der Angriffspunkt des Gewichtes ist veränderlich; dagegen sind das Gewicht selbst und der Drehpunkt unveränderlich; dies ist die sogenannte Schnellwage; zunächst müssen beide Hebelarme ac und ab so eingerichtet sein, daß der unbeschwerte Hebel horizontal liegt; das unveränderliche Gewicht 1 Pfd. ist nun auf ac verschiebbar; ist ab = ax, so ist auch y = 1 Pfd., ist dagegen ax = 5ab, so ist auch y = 5 Pfd., und überhaupt y desto schwerer, je weiter x von a entfernt werden muß.

2. Der Drehpunkt m ist veränderlich; dagegen sind die Angriffspunkte a und b für Gewicht und Last, und das Gewicht selbst unveränderlich. Als solches muß aber der gesammte Hebel angesehen werden, dessen Schwerpunkt a durch das stark beschwerte Ende sehr nahe an das letztere gerückt ist. In diesem Schwerpunkte muß man nun das Gesammtgewicht des Hebels angebracht denken. Die Scheere m wird nun so lange verschoben, bis der Balken horizontal steht; ist dann mb = 5ma und das Gewicht des Hebels 5 Pfd., so ist y = 25 Pfd.; überhaupt ist aber die Last desto schwerer, je näher m an b liegt. Diese Wage heißt Besemer, und ist nur noch wenig in Gebrauch.

Fig. 25.



3. Das Gewicht ist veränderlich; Drehpunkt und Aufhängepunkte sind unveränderlich; gewöhnlich sind beide Arme gleich lang, und man hat dann die gewöhnliche Wage, die wir ausführlicher beschreiben wollen. Ihre Hauptheile sind: 1) der Wagebalken mit der Zunge, 2) die Scheere, in welcher der Wagebalken hängt, 3) die Wageschalen. Legt man jetzt in beide Schalen gleich große Gewichte, so sinkt der Schwerpunkt nach unten, liegt aber noch immer senkrecht unter dem Drehpunkte; der Wagebalken verharrt also in horizontaler Lage. Legt man dagegen in die rechte Schale ein größeres Gewicht, so rückt der Schwerpunkt auf diese Seite und der Balken dreht sich so lange, bis der Schwerpunkt wieder senkrecht unter dem Drehpunkte liegt; es sinkt also diejenige Seite, auf welcher das größere Gewicht war. Hieraus ist klar, daß und warum der Wagebalken nur dann seine horizontale Richtung beibehält, wenn beide Schalen gleich belastet sind. Das nächste Erforderniß einer Wage ist, daß sie richtig sei; dies ist der Fall, wenn der Wagebalken auch nach Vertauschung der beiden Schalen oder nach Belastung beider mit gleichen Gewichten horizontal stehen bleibt. Außerdem hängt die Güte einer Wage von ihrer Empfindlichkeit ab; dieselbe zeigt sich in der Größe des Ausschlagswinkels bei kleinem Uebergewichte der einen Seite. Die Wage ist aber desto empfindlicher, 1) je länger die Arme sind; denn desto größere Wirkung übt nach dem Gesetze des Hebels ein kleines Gewicht aus; 2) je leichter die Arme sind, unbeschadet der Festigkeit; denn desto leichter wird die Wage durch ein kleines Gewicht in Bewegung gesetzt; 3) je näher der Schwerpunkt des Balkens dem Drehpunkte liegt; dieser dritte Punkt erfordert eine genauere Erläuterung. Zunächst liege, wie es gewöhnlich der Fall ist, der Drehpunkt mit den Aufhängepunkten der beiden Schalen in gerader Linie; dann bleibt der Schwerpunkt der Schalen und der gleichen Belastung auch

Fig. 26.

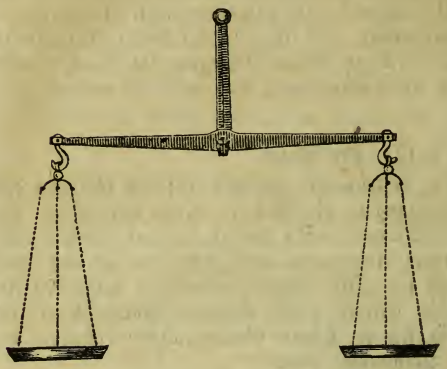
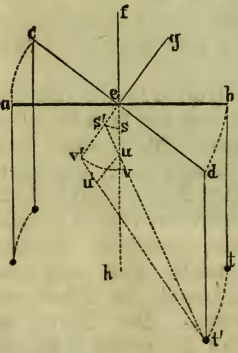


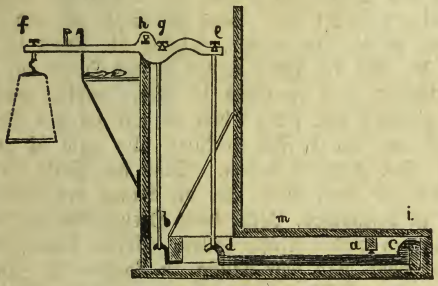
Fig. 27.



bei der Drehung des Balkens stets senkrecht unter dem Drehpunkte, so daß die Empfindlichkeit der Wage von der Belastung unabhängig ist und man nur die Verrückung des Schwerpunktes des Balkens und des Uebergewichtes in Betracht zu ziehen hat. Es sei nun (Fig. 27.) s der Schwerpunkt des Balkens, welcher sich mit demselben um e dreht, ferner t das Uebergewicht, welches sich um h herumdreht. Ist nun der Balken in der Lage cd zur Ruhe gekommen, so liegt s in s', t in t' und der gemeinschaftliche Schwerpunkt u senkrecht unter e. Hätte sich aber der Schwerpunkt des Balkens in v befunden, so würde derselbe in v' liegen und der gemeinschaftliche Schwerpunkt u' schon früher die senkrechte Lage passirt haben, so daß der Ausschlagswinkel kleiner gewesen wäre. — Hat der Drehpunkt nicht die oben angegebene Lage, so ergiebt sich aus dem 2. Punkte, daß die unbelastete Wage empfindlicher erscheint, als die belastete, so daß es überhaupt gerathen ist, die Empfindlichkeit einer Wage bei starker Belastung zu prüfen.

Hierbei sei noch die jetzt so vielfach angewendete Brückenwage erwähnt, welche aus 2 einarmigen Hebeln ib und cd, an deren Enden b und d Zugstangen angebracht sind, und aus einem zweiarmigen ef besteht, an dessen einem Arme diese Zugstangen ziehen. Ist nun etwa cd = 5 . ca, so muß auch he = 5 . hg sein; ferner ist gewöhnlich fh = 10 . gh. Wird nun eine Last von etwa 20 Pfund auf die Brücke ib gelegt, so vertheilt sich diese Last auf a und b; es sei auf a etwa ein Druck von 15 Pfd. wirksam, so wird an der Zugstange de nur eine Kraft von 3 Pfd. wirken, die aber in e ebenso stark ziehen, als 15 Pfd. in g; der übrige Theil der Last 5 Pfd. zieht in b an bg, so daß also beide Zugstangen den Hebelarm he so stark ziehen, als 20 Pfd. in g; da aber fh 10mal so groß als hg ist, so sind in f nur 2 Pfd. nöthig. Man sieht, daß es gleichgültig ist, an welcher Stelle der Brücke die Last aufgelegt wird; die Vorzüge dieser Wage bestehen in der Leichtigkeit, mit der schwere Lasten auf die Brücke gebracht werden können, in der Standhaftigkeit der Brücke, in der Kleinheit der erforderlichen Gewichte, worunter allerdings die Genauigkeit leidet, und darin, daß sie nicht aufgehängt wird, sondern beliebig aufgestellt werden kann.

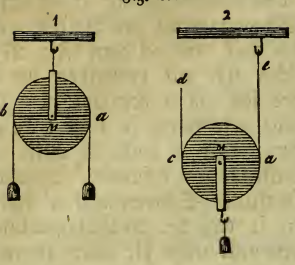
Fig. 28.



Gesch. Bem. Die Wagen mit Wagschalen und Balken waren schon bei den Römern in Brauch.

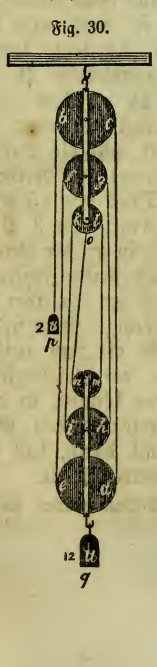
§ 13. Rollen und Räder.

Fig. 29.



Eine weitere Anwendung erfährt der Hebel in Rollen und Rädern. Zuerst unterscheidet man feste (1) und bewegliche (2) Rollen, je nachdem der Mittelpunkt M fest oder beweglich ist. Bei jenen ist der Mittelpunkt der Drehpunkt, die Radien Ma und Mb nach den Punkten, in denen das Seil die Rolle verläßt, sind die Arme; da dieselben gleich sind, so findet bei ihr weder ein mechanischer Vortheil, noch Nachtheil Statt; die feste Rolle dient daher nur, um die Richtung zu verändern, z. B. in (1) durch die herabziehende Kraft des Gewichtes die Last heraufziehen zu lassen. So ziehen Pferde in wagerechter Linie ein Seil und dadurch mittelst zweier Rollen einen Balken senkrecht in die Höhe. — Bei der beweglichen Rolle (2) ist dagegen die Last, z. B. 30 Pfund an dem Mittelpunkte M angebracht, an dem Seile cd wird gezogen, die Rolle dreht sich um a, welches den Drehpunkt bildet; die bewegliche Rolle stellt also einen einarmigen Hebel dar. Sind die Seile ae und cd lothrecht, so sind aM und ac die Hebelarme, folglich die Kraft in c die Hälfte der Kraft in M, also 15 Pfd.; ferner ist der Druck auf a oder e gleich dem Unterschiede, also ebenfalls 15 Pfd.; endlich wird, wenn sich d um 2 Fuß gehoben hat, jeder Theil ea und cd des Seiles sich nur um 1 Fuß verkürzt, also auch M nur um 1 Fuß gehoben haben. Sind die Seile nicht parallel, so muß man, um die Länge der Hebelarme zu bestimmen, Lothe vom Drehpunkte auf die Richtungen beider Kräfte fällen. Solche bewegliche Rollen sieht man sehr häufig an Lampen in Zimmern und auf Straßen. — Verbindet man mehrere bewegliche und unbewegliche Rollen, wie in Fig. 30, so erhält man einen Flaschenzug. Zieht in b ein Gewicht p von 2 Pfund, so ziehen auch cd und ef mit einer gleichen Kraft, folglich wird die Rolle ed mit einer Kraft von 4 Pfund getragen; die Stricke gh, ik ziehen ebenfalls mit einer Kraft von 2 Pfd., also beide die Rolle ih mit 4 Pfd.; ebenso ist es für mn, so daß also die Kraft ein Gewicht von 12 Pfd. zu tragen vermag. Während dagegen die Last q 1 Zoll gehoben wird, müssen sich die Stricke cd, ef, gh, ik, lm, no jeder um einen Zoll verkürzt haben; das Gewicht p wird sich also um 6 Zoll gesenkt haben, so daß auch hier der Gewinn an Kraft dem Verlust an Weg gleich ist. Ferner werden die Rollen bc, fg, jede mit einem Druck von 4 Pfd. herabgezogen, kl dagegen wegen des unten in o befestigten Seiles, welches auch

Fig. 30.



noch einen Druck von 2 Pfd. ausübt, mit einem Gewichte von 6 Pfd.' so daß auch hier der Druck auf den Balken gleich der Summe von $p + q = 14$ Pfd. ist. Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, daß bei einer derartigen Verbindung von Rollen die Kraft sich zur Last verhält, wie 1 zur Anzahl der Rollen. Dergleichen Flaschenzüge bemerkt man häufig auf Schiffen, ferner an den schwebenden Gerüsten, deren sich die Maurer beim Abputzen der Häuser bedienen.

Ein Rad CC, dessen Mittelpunkt M in der Achse EE einer Walze DD (die Welle) liegt, welche sich zugleich mit dem Rade herumdreht, heißt ein Rad an der Welle. Wirken die Kräfte an den Umfängen der Welle und des Rades in der Richtung der Tangenten, so sind die Radien die Hebelarme; verhalten sich diese, wie 1 : 6, so ist auch die in B wirkende Kraft sechsmal so groß, als die in A; oder: die Kräfte verhalten sich umgekehrt, wie die Halbmesser. Wenn sich aber Rad und Welle einmal gedreht haben, so ist die Länge des vom Rade abgewickelten Seiles sechsmal so groß, als die Länge des auf die Welle aufgewickelten, oder die Geschwindigkeiten verhalten sich, wie die Halbmesser. — Will man also, wie gewöhnlich, Kraftersparniß bewirken, so muß die Kraft am Rade angebracht werden, z. B. bei Mühlrädern; will man dagegen eine große Geschwindigkeit hervorbringen, so muß man die Welle bewegen, wie es z. B. beim Spinnrade geschieht, wo durch eine mäßige Bewegung des Trittes eine schnelle des Schwungrades bewirkt wird. — Statt des vollständigen Rades sind auch oft blos Speichen angebracht, oder wohl gar nur eine Speiche, welche den Hebelarm bildet. Ist an der Speiche noch ein der Achse paralleler Griff, wie z. B. bei einer Kaffeemühle, so heißt dieselbe eine Kurbel oder Krummzapfen. Beispiele bieten alle Räder, z. B. Treträder, Schwungräder, Wasserräder dar. Man unterscheidet unter den letzteren unterschlächtige, mittelschlächtige, oberschlächtige Räder, je nachdem das Wasser auf die unteren, mittleren oder oberen Schaufeln des Rades schlägt; im ersteren Falle wirkt es blos durch den Stoß, im letzteren zugleich durch seine Schwere; jene werden in Flüssen angewendet, wo reichliches Wasser vorhanden ist, diese an Orten, wo man nur eine kleine Wassermenge von starkem Gefälle benutzen kann. Auch die Flügel der Windmühle, der Schlüssel, an welchem Bart und Griff die Speichen zweier an derselben Welle befindlichen Räder bilden, u. A., gehören hierher. Besonders zu merken sind noch der Göpel (Fig. 32.) und die Haspel (Fig. 33.), z. B. an einem Ziehbrunnen. — Die

Fig. 31.

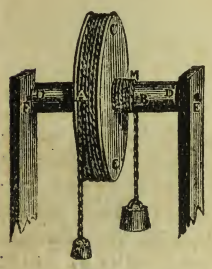


Fig. 32.

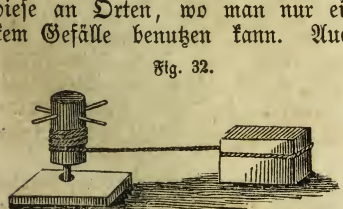
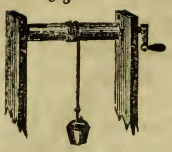
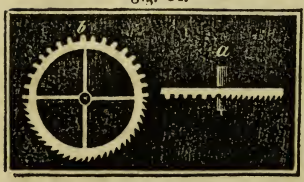


Fig. 33.



Räder sind sehr häufig an ihrem Rande mit Erhebungen, Zähnen, versehen; stehen dieselben senkrecht zur Fläche des Rades, so heißen die Räder Kamm- oder Kronräder (a); liegen sie in der Radebene, so heißen die Räder Stirn- oder Sternräder (b). Die Welle eines andern Rades ist dann mit Furchen versehen, in welche jene Zähne eingreifen, und heißt Getriebe, die Erhabenheiten der Welle, welche, wie im Trilling, oft bloße Stäbe sind, Triebstöcke.

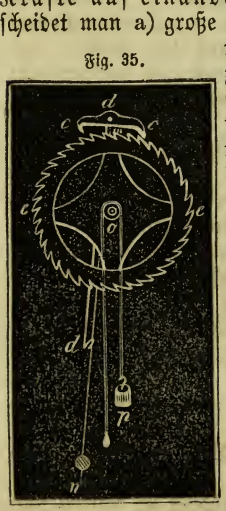
Fig. 34.



§ 14. Die Uhren.

Unter den mit Rädern versehenen Maschinen ist die Uhr die gewöhnlichste, über deren Einrichtung daher noch einiges Ausführliche hinzugefügt werden soll. Bedingung der Uhr ist regelmäßige Bewegung. Daher ist erforderlich 1) eine bewegende Kraft, und da jede stetig wirkende Kraft eine beschleunigte Bewegung hervorbringen würde, 2) eine regulirende Kraft, 3) eine Einrichtung, beide Kräfte auf einander wirken zu lassen. Unter den Uhren unterscheidet man a) große oder Gewichtuhren, b) kleine oder Federuhren. Bei jenen dient 1) um die Bewegung zu bewirken, ein Gewicht p, welches an einer Schnur oder Kette zieht, die um ein Rad o geschlagen dasselbe umdreht und dadurch auch die übrigen Räder in Bewegung setzt; 2) um die regelmäßige Bewegung hervorzubringen, das Pendel mn, welches, wie wir gesehen haben (§ 6.), seine Schwingungen in gleichen Zeiten macht; 3) um Beides zu verbinden, das Echappement cc mit dem englischen Haken dd, und das Steigrad ee. Während nemlich das Gewicht die übrigen Räder und auch das Steigrad herumdreht, hemmt der Haken, welcher durch das Pendel regelmäßig hin und her bewegt wird und dabei abwechselnd rechts und links in die Zähne des Steigrades eingreift, jene Bewegung so, daß bei jeder Schwingung das Steigrad nur um einen halben Zahn weiterrückt.

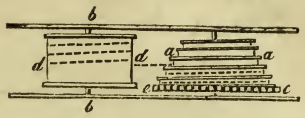
Fig. 35.



Bei den Federuhren wird 1) die Bewegung durch eine starke elastische Feder xxx (Fig. 36.) bewirkt, welche in einem Gehäuse dd (Fig. 37.) um die Achse bb desselben aufgewickelt sich wieder ver-

Fig. 36.

Fig. 37.



möge ihrer Elasticität abzuwickeln sucht, dabei das Gehäuse herumdreht und mit demselben die übrigen Räder in Bewegung setzt. 2) Die Regelmäßigkeit wird, wie bei den meisten Stutzuhren, ebenfalls durch ein Pendel oder, wie in den Taschenuhren durch die Unruhe (Fig. 38.) bewirkt, d. i. eine sehr feine elastische Feder, welche in einem kleinen Schwungrade sich abwechselnd ausdehnt und zusammenzieht und dabei regelmäßig hin und her bewegt. 3) Die Verbindung bewirkt die Spindel aa (Fig. 39.) mit zwei Lappen xx und ein Steigrad cc; das Steigrad wird durch die übrigen Räder und namentlich durch das Kronenrad herumgedreht; die Spindel dagegen wird durch die Unruhe bb, deren Achse sie bildet, regelmäßig hin und her bewegt und greift dabei mit den Lappen in die Zähne des Steigrades oben und unten abwechselnd so ein, daß bei jeder Schwingung der Spindel das letztere nur um einen halben Zahn weiterrückt. — Bei den jetzt so üblichen Cylinderuhren ist statt der Spindel ein kleiner Cylinder (Fig. 40.) angebracht, welcher so ausgehöhlt ist, daß nur ein Theil der Wand stehen bleibt; statt des Steigrades ist dagegen ein horizontales Hakenrad (Fig. 41.) vorhanden, dessen Haken abwechselnd gegen die äußere und innere Seite jenes Wandstückes des hin und her schwingenden Cylinders schlagen und dadurch regelmäßig aufgehalten werden, wie es die beiden Stellungen des Hakens und Cylinders in Fig. 42. zeigen. Indem hierbei das Kronenrad und das um eine horizontale Achse gehende Steigrad, (so

Fig. 38.

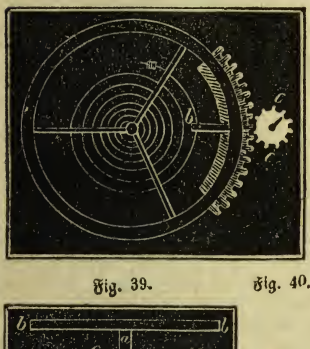


Fig. 39.

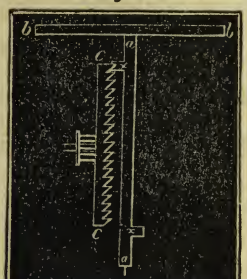
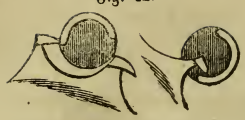


Fig. 40.

Fig. 41.

Fig. 42.



wie die Schnecke, siehe Anm.) wegfallen, ist es möglich, daß diese Uhren eine so flache Form erhalten können.

Anm. Es mögen noch einige mechanische Einrichtungen der Uhren erwähnt werden. Das Gehäuse (Fig. 36. und 37.) hat eine feste Achse bb; an dieser in b und an dem Innern des Gehäuses in c ist die Feder befestigt. Das Aeußere des Gehäuses dd steht mit der sogenannten Schnecke aa durch die Kette in Verbindung. Beim Aufziehen der Uhr wird die Schnecke von rechts über vorn nach links gedreht, und durch Vermittelung der Kette geschieht dasselbe mit dem Gehäuse; hierbei wird zugleich die Kette vom Gehäuse ab auf die Schnecke gewickelt. Ferner wird aber bei dieser Drehung die Feder in dem Gehäuse um die feste Achse desselben zusammengewickelt. Indem sich dieselbe nun wieder auszudehnen und abzuwickeln strebt, bewegt sie das Gehäuse und durch die Kette auch die Schnecke von links über vorn nach rechts, wodurch zugleich die Kette wieder auf das Gehäuse gewickelt wird. Am Boden der Schnecke ist das große Bodenrad ee angebracht, welches sich zugleich mit derselben, aber nur von links nach rechts dreht, dagegen beim Aufziehen der Uhr stehen bleibt. Die pyramidenförmige Einrichtung der Schnecke ist aber zu dem Zwecke getroffen, daß die Kette, welche durch die Feder des Gehäuses in Bewegung gesetzt wird, an dem kleineren Hebelarm wirkt, wenn die Feder noch stark gespannt ist, an dem größeren, wenn sie dem Ablaufen nahe nur noch geringe Kraft hat, so daß sich durch jene Einrichtung die Wirkung der Feder auf die Umdrehung der Schnecke gleich bleibt. — Der schwingende Theil der elastischen Feder in der Unruhe (Fig. 38.) reicht von der Achse bis zur Klammer b; diese Schwingungen sind nun, wie beim Pendel, desto langsamer, je länger die Feder ist; je nachdem ich also durch Verrückung der Klammer, welche auf der Stellscheibe cc geschieht, den schwingenden Theil der Feder länger oder kürzer mache, wird auch die Uhr langsamer oder schneller gehen. — Ueber Compensationen, Rostpendel ꝛc. s. § 94.

Gesch. Bem. Im Alterthume bediente man sich der Wasser- und Sanduhren; erst im Mittelalter sind Räderuhren und Schlaguhren in Gebrauch gekommen, welche aber die vollkommene Regelmäßigkeit der Bewegung, auf die Alles ankommt, noch sehr vermissen ließen. Des Pendels hat sich als Zeitmesser schon am Ende des 10. Jahrhunderts der arabische Astronom Ebn-Junis und 6 Jahrhunderte später Galilei bedient. Mit einem Räderwerk ist es zur Regulirung des Ganges der Uhren zuerst von Sanctorius in Padua 1612 verbunden worden; doch waren seine Versuche mangelhaft und haben ihre nothwendige Vervollkommnung erst durch das ausgezeichnete Werk Huyghens horologium oscillatorium 1656 (§ 7.) gefunden. Ebenso brachte Huyghens zuerst an den Taschenuhren, die bereits um 1500 von Peter Hele gefertigt sein sollen, die Spiralfeder der Unruhe an, wodurch erst die eigentliche Brauchbarkeit derselben bewirkt worden ist.

Drittes Kapitel.

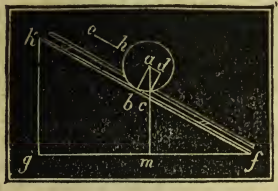
Maschinen, welche auf der schiefen Ebene beruhen.

§. 15. Die schiefe Ebene überhaupt. — Die Reibung.

Die vorhergehenden Instrumente beruhten sämmtlich auf dem Gesetze des Hebels. Ein andres Mittel, Kraft zu ersparen, bietet in ein-

fachster Gestalt die Schrotleiter dar. Um schwere Lasten auf einen Wagen zu bringen, werden dieselben auf einer solchen Schrotleiter hinaufgeschoben oder gerollt mit einer viel geringeren Kraft, als zum Heben derselben erforderlich wäre. Um sich dies zu erklären, bedenke man, daß das Gewicht des Körpers senkrecht, also in der Richtung ac wirkt, während die Kraft den Körper in der Richtung he zu bewegen sucht. Man muß sich also das Gewicht ac in die beiden Kräfte ad und ab zerlegen, dann ist ab derjenige Theil desselben, mit welchem die Schrotleiter gedrückt wird, ad der für die Bewegung wirksame Theil. Ist also ac etwa 6 mal so groß, als ad, das Gewicht der Last aber 1 Ctr., so ist, um die Last aufzuhalten, nur eine Kraftanstrengung von $\frac{1}{6}$ Ctr. nöthig. Die Schrotleiter ist nun ein Beispiel einer schiefen Ebene, d. h. einer Ebene, die mit dem Horizont einen spitzen Winkel bildet, kg heißt die Höhe, kf die Länge, fg die Grundlinie derselben. Es ist sichtbar, daß

Fig. 43.



je kleiner der Winkel kfg ist, desto kleiner auch der wirksame Theil der Kraft, desto größer dagegen der auf die Ebene ausgeübte Druck ist.

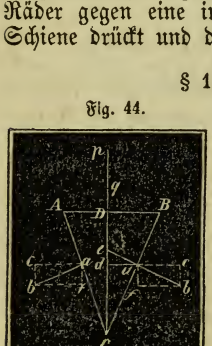
Daraus erklärt sich, daß das Ersteigen eines Berges schwerer, das Herabsteigen leichter wird, als das Gehen auf ebener Erde, weil man im ersten Falle den Körper nicht bloß fortzubewegen, sondern noch in die Höhe zu schieben hat, während im zweiten der Körper mit seinem Gewichte uns herabzieht.

In dem Gesetze der schiefen Ebene findet auch ein Hinderniß seine Erklärung, welches bei der Wirkung aller Maschinen von größter Bedeutung ist, die Reibung. Wird nemlich ein Körper an einem andern hinbewegt, z. B. ein Buch über eine Tischplatte, so daß dieselben Punkte des einen Körpers verschiedene Punkte der Oberfläche des andern berühren, so muß, weil beide, auch die glättesten Körper, an ihren Oberflächen eine Menge Erhebungen darbieten, der eine Körper über die Erhebungen des anderen, wie auf einer schiefen Ebene gehoben werden, worauf viel Kraft zu verwenden ist. Man nennt dies die gleitende Reibung. Sie wächst in gleichem Verhältnisse mit dem Drucke, ist aber bei harten Körpern unabhängig von der Berührungsfläche; denn in demselben Grade, als sich durch die Vergrößerung derselben die Reibung vermehrt, vermindert sich zugleich der Druck auf die einzelnen Punkte und also auch die Reibung. Viel geringer ist die wälzende Reibung, wobei verschiedene Punkte des einen Körpers verschiedene Punkte des anderen berühren, z. B. beim Rollen einer Kugel oder eines Cylinders über eine Platte. Daher sucht man wo möglich die gleitende Reibung in eine wälzende zu verwandeln, und darauf beruht der Vortheil der Wagenräder. Hierbei findet zwar außer der wälzenden Reibung zwischen dem Rade und dem Erdboden noch eine gleitende zwischen der Achse und der Nabe

Statt. Während sich aber der Wagen um den Umfang des Rades fortbewegt, ist die gleitende Reibung nur für den Umfang der Achse zu überwinden gewesen; hieraus ersieht man, daß diese Reibung um so geringer sein wird, je kleiner der Radius der Achse im Vergleich zu dem des Rades ist. Vermindert wird die Reibung entweder durch Ausfüllen der Vertiefungen mit Schmieren, oder durch Entfernung der Erhebungen mittelst des Glättens. Andrerseits ist die Reibung auch höchst nothwendig. Auf einer sehr glatten Eisfläche ist unser Schritt unsicher und wir sind fortwährend dem Fallen ausgesetzt; man sieht daraus, daß ein sicheres Gehen nur durch die Reibung möglich wird; sie bewirkt es, daß wir durch die Naht die einzelnen Theile eines Kleides, durch Nägel andere Gegenstände an einander befestigen, einen Knoten knüpfen, eine Schachtel durch den Deckel schließen können u. s. w. Fände keine Reibung zwischen dem Rade einer Locomotive und dem Erdboden Statt, so würde sich dasselbe nur um seine Achse drehen, statt weiter zu rollen; darum muß, da die Locomotive alle Wagen nach sich zieht, die Reibung zwischen ihren Rädern und den Schienen sehr stark sein, bei den Rädern der folgenden Wagen dagegen möglichst gering. Daß man beim Herabfahren von Bergen durch einen Hemmschuh die Reibung vermehrt, ist bekannt. Die Fahrt über den Mont Cenis mittelst Locomotiven auf einer Eisenbahn hofft man trotz der ungeheuern Steigung dadurch möglich zu machen, daß die Maschine zwei horizontale Räder gegen eine in der Mitte des Geleises emporstehende verticale Schiene drückt und dadurch eine starke Reibung erzeugt.

§ 16. Der Keil und die Schraube.

Fig. 44.



Das Princip der schiefen Ebene findet besondere Anwendung bei dem Keile, welcher gewöhnlich dazu dient, die Theile eines festen Körpers aus einander zu treiben; die schmale Seitenfläche AB heißt der Rücken, die anderen beiden AC und BC die Seiten des Keiles. Die Kraft pq wirkt senkrecht auf den Rücken, der Widerstand ba des Körpers senkrecht auf die Seiten des Keiles. Es ist sichtbar, daß die Kraft um so kleiner zu sein braucht, je länger die Seiten oder je schmaler der Rücken ist, d. h. je kleiner der Winkel ACB ist, der die Schärfe des Keiles heißt. Die durch den Keil hervorgebrachte Wirkung wird aber besonders dadurch so bedeutend, daß man die Kraft nicht durch einen Druck, wie bei den anderen Maschinen, sondern durch den Stoß eines bewegten Körpers, z. B. eines Hammers ausübt. Andererseits wird die Wirkung durch die sehr bedeutende Reibung vermindert.

Der Keil findet nächst dem Hebel die häufigste Anwendung im täglichen Leben; so sind Aexte, Messer, Säbel, Meißel, Hobel, unsre Zähne, die Sägezähne, ferner die Nägel, Nadeln, Feilen, die Borsten der Bürste als Keile zu betrachten, ja selbst die Fasern des Tuches, mit dem man den Staub abwischt.

Eine andre wichtige Anwendung der schiefen Ebene bildet die Schraube; sie besteht aus zwei genau in einander greifenden Theilen, der Schraubenmutter nn und der Schraubenspindel mm. Denkt man sich nun die Oberfläche der Schraubenspindel in eine Ebene ausgebreitet, wie in 2., so sieht man, daß sich bei der Umdrehung jeder Punkt der Mutter, z. B. p, auf der Spindel, wie auf einer schiefen Ebene, weiter bewegt, deren Grundlinie ed die Peripherie und deren Höhe df die Höhe eines Schraubenganges ist. Nun wirkt 1) die bewegende Kraft, welche die Schraube herumdreht, parallel der Grundfläche, 2) die Schraube selbst drückt mit ihrem untern Theile senkrecht gegen die Unterlage. Aus dem Principe der schiefen Ebene ist ersichtlich, daß die Wirkung der Schraube um so größer ist, je größer der Umfang der Schraube oder je niedriger der Schraubengang ist. Der größere Theil des Widerstandes, den die Unterlage leistet, wirkt auf die Schraubengänge, die daher sehr dauerhaft sein müssen. Zur Verstärkung der Wirkung, die durch die Reibung außerordentlich vermindert wird, ist gewöhnlich noch ein längerer Hebelarm als Handhabe (Fig. 46.) (Preßbengel oder Schwengel) angebracht, um die Schraube zu drehen. Man benutzt die Schraube, 1) um getrennte Theile zusammenzuhalten, z. B. die kleinen Schrauben an Instrumenten, auch die Schrauben der Tischler, 2) um starke Pressungen hervorzubringen; bald ist dann die Spindel beweglich, die Mutter fest, z. B. beim Prägen von Münzen (Fig. 46.), in Buchdruckerpressen, bald die Mutter beweglich, die Spindel fest, wie in Buchbinder- und Pflanzenpressen (Fig. 47.). Uebrigens ist auch hier mit der Ersparung an Kraft ein gleich großer mechanischer Nachtheil verbunden; denn während sich die an der Spindel oder Mutter angebrachte Kraft einmal herumdreht, also einen großen Kreis beschreibt, senkt sich der unterste Punkt nur um die Höhe eines Schraubenganges. Daher benutzt man die Schraube ganz besonders, um sehr kleine Bewegungen hervorzubringen und kleine Abstände zu messen. — Eine sehr wichtige Anwendung erfährt die Schraube jetzt in

Fig. 45.

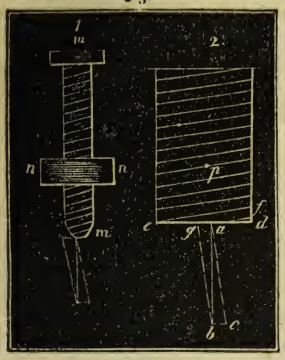


Fig. 46.

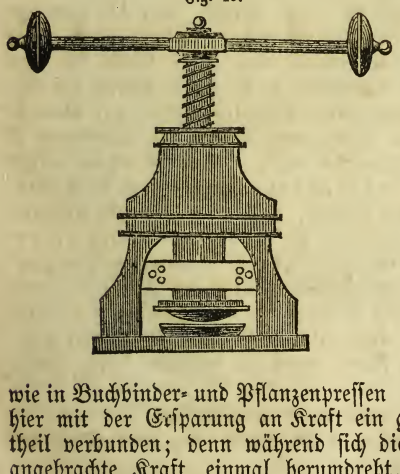
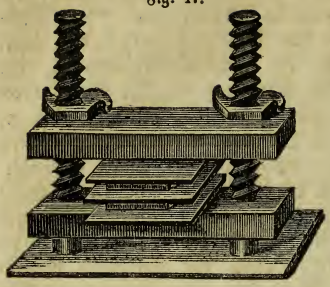
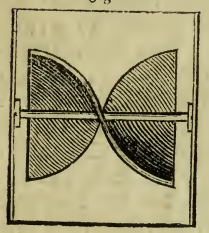


Fig. 47.



den sogenannten Schraubenschiffen, in denen sich kurz vor dem Steuer eine doppelgängige, aber nur aus 2 halben Schraubengängen bestehende Schraube (Fig. 48.) befindet, deren Achse mit der Schiffsachse zusammenfallend durch Dampfkraft gedreht wird. Dächte man sich dieselbe in einer festen Mutter beweglich, so ist klar, daß das Schiff durch ihre Umdrehung in der Richtung seiner Achse bewegt werden würde. Die Stelle der Mutter vertritt der Widerstand des Wassers, in welchem die Schraube gedreht wird. Der Vortheil vor den Schaufelrädern besteht darin, daß die Schraube auf beide Seiten des Schiffes ganz gleich wirkt und daß sie in der Mitte des Schiffes liegend der Wirkung der Geschütze entzogen ist.

Fig 48.



Viertes Kapitel.

§ 17. Maschinen im allgemeinen.

Der Zweck aller Maschinen ist, einer Kraft, über die man gebieten kann, sei es Dampf, Wasser, Menschen, Pferde u. A., eine solche Anwendung zu geben, daß dadurch eine andre Kraft, die man gewöhnlich als den Widerstand bezeichnet, z. B. die Cohäsion der Getreidekörner, des Holzes in Mahl- und Schneidemühlen, das Gewicht der Körper in Hebewerken, das Beharrungsstreben der Wollfaden in Spinnmaschinen u. s. w., überwunden werde. Jede Maschine erfüllt daher zweierlei Zwecke 1) die vorhandene Kraft mit dem Widerstand in Verbindung zu setzen, d. h. gewisse Bewegungen durch andere zu vermitteln, 2) Kraftersparniß zu erlangen oder größere Geschwindigkeit hervorzubringen, was aber nur durch einen ebenso großen Verlust an Zeit oder einen ebenso großen Aufwand an Kraft möglich ist. In Hinsicht des ersten Punktes soll nun zunächst eine kurze Uebersicht über die Mittel gegeben werden, durch welche man jenen Zweck zu erreichen sucht. Man bringt hervor:

1) geradlinige Bewegungen durch andre geradlinige
   a) nach derselben Richtung, z. B. durch Zug und Stoß mit Stricken und Stangen,
   b) nach veränderter Richtung, z. B. durch Rollen, durch Winkelhebel (Fig. 19. und 29.),
2) Kreisbewegungen durch geradlinige Bewegungen
   a) durch hin- und hergehende geradlinige Bewegungen, z. B. mit

Fig. 49.

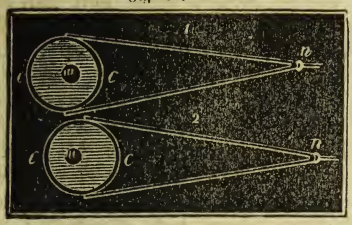
Leitstange und Kurbel, beim Spinnrade, der Drehbank (Fig. 49.),

b) durch fortlaufende geradlinige Bewegungen, z. B. durch ein um eine Welle vielfach umlegtes Seil,

3) geradlinige Bewegungen durch Kreisbewegungen

a) hin- und hergehende, z. B. durch Kurbel und Leitstange (Fig. 49.), wie beim Sägerahmen, durch excentrische Scheiben mit Leitstange (Fig. 50.); durch eine Welle mit Däumlingen, wie in Stampf- und Hammerwerken (Fig. 51.),

Fig. 50.



b) fortlaufende, z. B. durch Göpel und Haspel (Fig. 32. und 33.), durch ein Rad mit einer gezahnten Stange (Fig. 52.), wie bei Sägemühlen, Wagenwinden, Spulmaschinen; durch Schrauben,

4) Kreisbewegungen durch andre Kreisbewegungen,

Fig. 51.

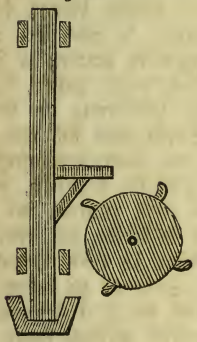


Fig. 52.

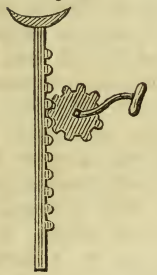


Fig. 53.

Fig. 55.

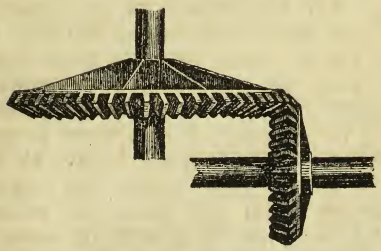
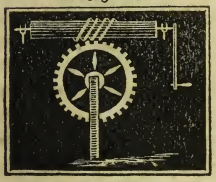


Fig. 54.



a) deren Achsen parallel gehen, z. B. durch endlose Schnuren um Räder (Fig. 53.), wie bei dem Spinnrad, durch gezähnte Räder und Getriebe (Fig. 34.), durch Stirn- und Kammräder,

b) deren Achsen einen Winkel bilden, z. B. durch die Schraube ohne Ende (Fig. 54.); durch Kammräder, namentlich durch konische Räder (Fig. 55.).

In Betreff des zweiten Punktes bemerken wir zunächst, daß die oben (§ 3.) angestellte Vergleichung der Kräfte nach der hervorgebrachten Geschwindigkeit nur Gültigkeit habe, wenn sie auf denselben Körper wirken. Werden verschiedene Körper durch dieselbe Kraft in Bewegung gesetzt, so ist leicht zu sehen, daß die Geschwindigkeit eines jeden Körpers um so kleiner sein wird, je größer seine Masse ist; so wird durch dieselbe Ursache des Pulvers die Kugel der Kanone mit großer Geschwindigkeit weit fortgeschleudert, während das schwere Geschütz nur ein wenig zurückgestoßen wird. Um also die Größe eine Kraft zu bestimmen, muß man angeben, welche Masse durch dieselbe in Bewegung gesetzt und welche Geschwindigkeit dieser Masse ertheilt worden ist. Der in Bewegung gesetzte Körper besitzt aber nun seinerseits eine Kraft (bewegende Kraft), die um so größer ist, je größer seine Masse und seine Geschwindigkeit ist; daher können Körper von geringer Masse bei großer Geschwindigkeit, z. B. eine Flintenkugel, und Körper von großer Masse auch bei geringer Geschwindigkeit, z. B. ein langsam fahrendes Schiff, eine große Kraft ausüben. In den vorigen Paragraphen sind nun die Bedingungen aufgesucht worden, unter denen sich Kraft und Last oder Widerstand das Gleichgewicht halten; da aber Maschinen in Bewegung gedacht werden, so scheint es, als ob jene Untersuchung nicht unmittelbar zur Beurtheilung der in den Maschinen wirkenden Kräfte dienen könne. Ist aber die Maschine einmal in Gang gebracht, so wird sie, wenn die Kraft und der Widerstand sich das Gleichgewicht halten, in Folge der Beharrung mit gleichförmiger Geschwindigkeit weiter gehen, so daß für die im Gange befindliche Maschine nur die Erfüllung der Bedingungen des Gleichgewichts erforderlich ist. Denkt man sich nun eine fortgesetzt mit gleicher Stärke wirkende Kraft, die einen fortgesetzt sich erneuernden Widerstand zu überwinden hat, so wird die Arbeit, welche von der Kraft verrichtet wird, bestimmt, indem man angiebt, wie viel Pfunde sie im Stande sein würde, in einer Sekunde auf eine bestimmte Höhe zu heben, und sie ist dieselbe, wenn sie 1000 Pfund um 1 Fuß oder 1 Pfund um 1000 Fuß in der Sekunde zu heben vermag. Aus dem Früheren ist nun ersichtlich, daß die so bestimmte Arbeit einer Kraft durch keinerlei Maschine vergrößert werden kann, sondern daß die letztere nur dazu dient, entweder durch eine kleine Kraft eine große mit entsprechendem Zeitverlust auszuüben, z. B. bei einer Wagenwinde, oder eine große Geschwindigkeit durch eine kleine mit einem entsprechenden Kraftaufwand hervorzubringen, z. B. bei einem Spinnrade. Ebenso wenig ist aber die Maschine geeignet, etwa den Druck, den ein Körper ausübt, als solchen unwirksam zu machen; der Kunstgriff besteht aber darin, den bedeutendsten Theil dieses Widerstandes durch feste Maschinentheile tragen zu lassen, so daß man blos den übrigen Theil zu überwinden nöthig hat. So müssen der Unterstützungspunkt des Hebels, das Zapfenlager der Welle, die Säule, an der die Rolle oder der Flaschenzug hängt, der Keil selbst, die Gänge der Schraube den wesentlichsten Theil des Druckes tragen, den der Widerstand ausübt, soweit ihn nämlich nicht etwa die Kraft übernimmt.

Gesch. Bem. zur 1. Abth. Die in diesem Abschnitte mitgetheilten Gesetze sind zum Theil schon von Archimedes (geb. 287 v. Ch. zu Syrakus, gest. 212) aufgefunden und bewiesen worden. So hatte dieser größte Mathematiker des Alterthums die Gesetze vom Schwerpunkt und vom Hebel aufgestellt, und ihre Anwendung auf Rollen und Räder gekannt. Er hatte eine Maschine construirt, durch welche der König Hiero von Syrakus mit der Hand ein ganzes Schiff in die Höhe heben konnte. Und als derselbe sich darüber verwunderte, hat er das bekannte Wort zu ihm gesagt: „gieb mir einen Punkt, wo ich stehen kann, so will ich die Erde aus ihren Angeln heben“. Auch hat er während der Belagerung von Syrakus durch die Römer sehr viel zur langen Vertheidigung dieser Stadt durch seine Maschinen beigetragen, und ist bekanntlich bei der Einnahme derselben getödtet worden. Dagegen ist nach dem Archimedes nicht der geringste Fortschritt gemacht worden, so daß erst Simon Stevin (geb. in Brügge, ein Zeitgenosse Galilei's), das Gesetz der schiefen Ebene entdeckt und das des Hebels erweitert hat. Nachdem die richtigen Principien bekannt waren, sind dieselben dann von den ausgezeichneten Mathematikern des 17. und 18. Jahrhunderts zu der Begründung und Vervollkommnung der Maschinen angewendet worden.

Zweite Abtheilung. Mechanische Erscheinungen tropfbar flüssiger Körper.

§ 18. Tropfbar flüssige Körper im allgemeinen.

Tropfbar flüssige Körper sind solche, deren Theile sich leicht an einander verschieben lassen und in kleinen Mengen Tropfen bilden (§ 8.). Ihre Haupteigenschaften kann man noch kürzer zusammenfassen, wenn man sagt, sie haben geringe Cohäsion; weil sie nemlich Cohäsion haben, bilden sie in kleinen Mengen Tropfen; weil aber die Cohäsion nur gering ist, sind sie flüssig, d. h. ihre Theilchen sind leicht verschiebbar. Diese letzte Eigenschaft ist bekannt; aber auch die Cohäsion des Wassers kann man leicht bemerken; sie zeigt sich, z. B. darin, daß man ein Gefäß durch behutsames Zugießen überfüllen kann, indem sich ein Berg bildet; ferner darin, daß man mit einem ganz reinen Glasstäbchen, welches man in Wasser taucht und aus demselben behutsam herauszieht, einen feinen Wasserfaden auf eine kleine Höhe nachziehen kann; ebenso darin, daß eine feine Nadel, auf Wasser gelegt, schwimmt, während sie mit der Spitze hineingesteckt, sogleich untersinkt u. A.

Anm. Wenn auf eine Masse leicht verschiebbarer Theilchen nur die gegenseitige Anziehung wirkt, so strebt jeder Punkt dem Schwerpunkt möglichst nahe zu kommen; so lange nun nicht alle Punkte der Oberfläche gleichweit von diesem Punkte entfernt sind, so gleiten die entfernteren wegen der leichten Verschiebbarkeit über die anderen hin und zerfließen, bis endlich jene Bedingung erfüllt ist, d. h. bis die Masse eine Kugel, einen Tropfen bildet. Daher erklärt sich auch die kugelförmige Gestalt der Himmelskörper, die entstand, als sich dieselben noch in einem flüssigen Zustande befanden (vergl. § 7.); daher auch die kugelförmige Gestalt des Bleischrotes, die sich bildet,

indem flüssiges Blei durch ein Sieb gegossen von großer Höhe herabfällt und in kaltem Wasser erstarrt.

Außer dem Wasser sind die bekanntesten reinen Flüssigkeiten Alkohol oder Weingeist, Quecksilber und die Oele. Bier, Wein, Milch ꝛc. sind Mischungen aus flüssigen und festen Stoffen, welche letzteren in jenem aufgelöst sind. Uebrigens ist das specifische Gewicht sämmtlicher Flüssigkeiten von dem des Wassers nicht erheblich verschieden; nur das Quecksilber macht eine wichtige Ausnahme (§ 9. Anm.).

Erstes Kapitel.

Der durch das Wasser ausgeübte und fortgepflanzte Druck.

§ 19. Der Druck des Wassers im allgemeinen.

Drücken wir ein mit Sand oder Erbsen angefülltes Säckchen an einer Stelle, so zeigt sich, daß sich der Druck nach allen Seiten fortpflanzt, indem das Säckchen an verschiedenen Stellen nachgiebt und aufschwillt. Dieses findet nun viel vollständiger für Flüssigkeiten Statt, und es ergiebt sich als Hauptgesetz:

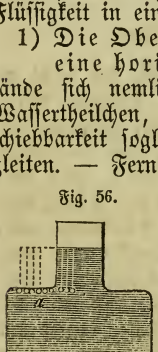
ein auf eine Flüssigkeit ausgeübter Druck pflanzt sich mit unveränderter Stärke nach allen Seiten fort.

Betrachten wir jetzt zunächst den Druck, den die Schwere auf die Flüssigkeit in einem Gefäße ausübt, so ist sichtbar:

1) Die Oberfläche des Wassers oder das Niveau bildet eine horizontale Fläche;

fände sich nemlich irgendwo eine Erhebung, so würden dergleichen Wassertheilchen, von der Erde angezogen, wegen ihrer leichten Verschiebbarkeit sogleich aus einander fließen und über die anderen hingleiten. — Ferner drückt jedes Theilchen mit seinem Gewichte auf die unteren und pflanzt zugleich den von anderen erhaltenen Druck, aber nicht blos nach unten, sondern nach allen Seiten fort, und so erleiden auch diejenigen Theile, z. B. a, welche nicht von unmittelbar darüberstehendem Wasser gedrückt werden, von den danebenliegenden derselben horizontalen Schicht den gleichen Druck und pflanzen ihn ebenfalls nach oben auf das Gefäß, nach den Seiten und nach unten zu fort; hieraus ergiebt sich, daß der Druck, den ein Wassertheilchen erfährt, nicht von dem darüber stehenden Wasser abhängt, sondern allein von seinem senkrechten Abstande unter dem Niveau; also ist

Fig. 56.

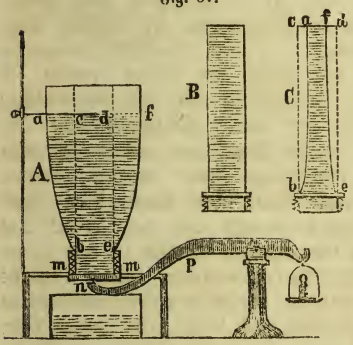


2) der Druck, den ein Wassertheilchen erleidet und nach allen Seiten ausübt, gleich dem Druck einer Wassersäule, welche man sich über demselben bis zum Niveau errichtet denkt;

und so ist auch der Druck auf eine horizontale Fläche gleich dem Drucke einer Wassersäule über dieser Fläche, deren Höhe gleich ihrem Abstande vom Niveau ist. Hierher gehört

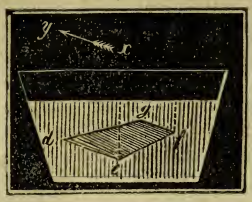
folgender einfache Versuch Galilei's. Man bringe ein Glas mit Wasser auf einer Wage ins Gleichgewicht und bewirke jetzt durch Eintauchen des Fingers ein Steigen des Wassers, so sinkt die Schale sogleich, indem das Wasser, ohne sich an Menge vermehrt zu haben, wegen des höheren Niveaus einen größeren Druck ausübt. Daß das Wasser auch nach oben drücke, sieht man am besten auf folgende Weise; man bedeckt die untere Oeffnung eines Lampencylinders durch eine dünne Glas- oder Blechplattte, die man mittelst eines in der Mitte derselben befestigten Fadens andrückt, und taucht den Cylinder in ein Gefäß mit Wasser; läßt man dann den Faden los, so drückt das Wasser selbst die Platte an; gießt man hierauf behutsam Wasser in den Cylinder, so wird die Platte erst abfallen, wenn das Wasser in demselben fast ebenso hoch steht, als in dem ganzen Gefäße; ein Beweis, daß der von unten auf die Platte ausgeübte Druck gleich dem Drucke einer Wassersäule von der vorhin bezeichneten Größe ist.

Fig. 57.



Anm. Danach muß auch der Druck des Wassers auf den gleich großen Boden der drei Gefäße A, B, C bei gleicher Höhe des Wasserstandes trotz der verschiedenen Wassermenge, die sie enthalten, gleich groß sein. Wollte man jedoch drei solche Gefäße auf die Wage stellen, so würde dieselbe bekanntlich den Unterschied der drei Wassermengen richtig angeben, und so scheint jene Behauptung dieser allgemein bekannten Erfahrung zu widersprechen (hydrostatisches Paradoxon). Auf die Wage drückt aber nicht bloß der Boden, sondern auch die Seitenwände. Nur in B erfahren diese keinen Druck in der verticalen Richtung, in A dagegen einen Druck nach unten, der gleich dem Druck des in abc und def enthaltenen Wassers ist; folglich drückt auf die Wage 1) das senkrecht über dem Boden befindliche Wasser, 2) durch die Seitenwände die Wassermassen abc und def, also die ganze im Gefäße enthaltene Wassermenge. In C dagegen werden die Seitenwände durch das Wasser nach oben gedrückt, und zwar, wie vorher, mit einem Druck, der gleich dem Druck einer Wassermenge ist, die in abc und def enthalten sein könnte. Folglich erfährt das Gefäß 1) einen Druck nach unten, gleich dem Gewichte des senkrecht über dem Boden befindlichen Wassers, 2) einen Druck nach oben durch die Seitenwände, gleich dem Gewicht der Wassermassen abc und def. Ziehen wir also den letzteren von dem ersteren ab, so ergiebt sich, daß auch hier der Gesammtdruck auf den Boden gleich der wirklich im Gefäß enthaltenen Wassermenge ist. Dazu aber, um unmittelbar die Richtigkeit des gleichen Bodendruckes nachzuweisen, dient der Apparat (Fig. 57.). Die Gefäße haben nemlich keinen Boden, und können in das Gestell mm eingeschraubt werden, so daß die Seitenwände von dem Gestell gehalten werden. Als Boden dient eine Platte n, die vermittelst des Hebels p durch das Gewicht angedrückt wird. Gießt man nun Wasser in die Gefäße, so sinkt die Platte, wenn der Bodendruck des Wassers den Gegendruck des Gewichtes übersteigt, und es zeigt sich, daß dies für alle 3 Gefäße bei gleichem Wasserstande geschieht, der

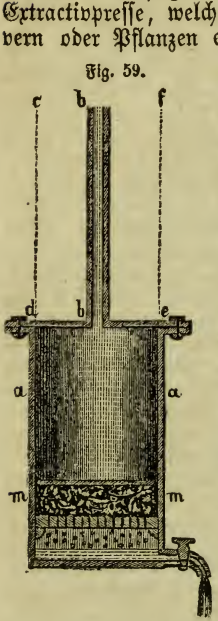
Fig. 58.



durch einen Stift bezeichnet wird. — Ueberhaupt erfährt man den Druck, den eine beliebige Fläche, z. B. ef Fig. 58 nach einer bestimmten Richtung xy hin erleidet, wenn man in jedem Punkte der Fläche eine Linie in der gegebenen Richtung zieht, und diese gleich dem Abstande des Punktes vom Niveau macht; dann ist der Druck des Wassers auf die Fläche ef in der Richtung xy gleich dem Drucke einer Wassermasse, die den Raum defg einnehmen würde.

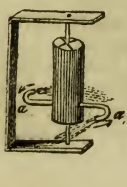
Eine wichtige Anwendung erfährt das vorige Gesetz in Reals Extractivpresse, welche von Apothekern gebraucht wird, um aus Pulvern oder Pflanzen einen Auszug zu machen. In einem Cylinder aa, der unten einen Ausfluß hat, wird zwischen zwei fein durchlöcherte Platten die Substanz mm gebracht. An dem oberen Theile des Gefäßes befindet sich eine an 8—10 Fuß hohe Röhre bb; wird jetzt die ausziehende Flüssigkeit, Wasser oder Alkohol ꝛc., durch die Röhre eingegossen, bis sie den Rand der Röhre erreicht, so preßt sie die Substanzen mit außerordentlicher Gewalt; denn die dünne Flüssigkeitssäule übt einen ebenso großen Druck aus, als das Gewicht einer Flüssigkeitsmenge cdef betragen würde. Der ausgesogene Saft läuft durch einen Hahn ab. Neuerdings benutzt man den Druck des Wassers von sehr starkem Gefälle in den so genannten Wassersäulenmaschinen, indem dasselbe durch Vorrichtungen, welche den Schieberventilen einer Dampfmaschine (§ 104.) sehr ähnlich sind, bald über, bald unter den Kolben eines Cylinders geleitet denselben in Bewegung setzt.

Fig. 59.



Aus dem Obigen ist deutlich, daß das Wasser auch einen Druck auf die Seitenwände ausübt, und daß derselbe mit der Tiefe wächst. Darum werden die Thore der Schleusen, die Dämme ꝛc. um so stärker gemacht, je tiefer ihre Theile in das Wasser hineinragen. Da in jedem Gefäße die eine Wand ebenso stark nach der einen, als die entgegengesetzte nach der anderen gedrückt wird, so bleibt das Gefäß in Ruhe. Ist dagegen auf der einen Seite der Wand eine Oeffnung, so wird die gegenüberliegende Wand stärker gedrückt, und das Gefäß wird, wenn es frei schwebt, sich nach dieser Seite hin bewegen. Dies wird in dem Segner'schen Wasserrade benutzt; wird nemlich in den Cylinder (Fig. 60.) Wasser gegossen, welches aus Röhren ausfließen kann, so werden die Wände a, a, dieser Röhren nach der Seite gedrückt, und es entsteht eine Drehung des Cylinders in der Richtung des Pfeiles. Diese Drehung wird nun zur Bewegung einer Maschine benutzt.

Fig. 60.

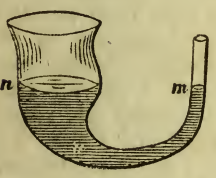


Gesch. Bem. Das hydrostatische Paradoxon ist zuerst von Stevin (§ 17. G. B.) aufgestellt, dann namentlich von Pascal und Boyle (§ 34. G. B.) behandelt worden. Das Princip des Segner'schen Rades hat Joh. Bernouilli erörtert, die Anwendung auf eine Maschine ist 1740 von Segner, Prof. in Halle, angegeben.

§ 20. Communicirende Röhren.

Communicirende Röhren sind Gefäße, welche unter sich unten so verbunden sind, daß die Flüssigkeit aus dem einen in das andere übergehen kann; solche sieht man an Theekannen, Gießkannen, Lampen ꝛc. Es ist eine bekannte Erfahrung,

Fig. 61.



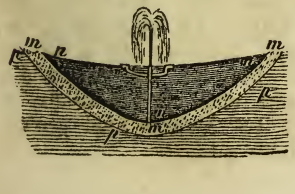
daß in communicirenden Röhren dieselbe Flüssigkeit in beiden Armen gleich hoch steht; denn der Druck, mit dem ein Wassertheilchen a von der rechten Seite her in die Höhe gedrückt wird, und welcher von der Höhe des Niveaus m abhängt, muß dem Gegendruck gleich sein, den es von oben erleidet, und der durch die Höhe des Niveaus n bestimmt wird; dies kann aber nur geschehen, wenn beide Niveaus gleich hoch stehen.

Fig. 62.

Anm. Dasselbe müßte Statt finden, wenn beide Schenkel mit Quecksilber gefüllt wären. Stände dagegen über a nicht Quecksilber, sondern Wasser, so müßte, da Quecksilber 14 mal so schwer, als Wasser ist, die darüber befindliche Wassersäule ab 14 mal so hoch sein, als die den Gegendruck ausübende Quecksilbersäule cd. Daraus ergiebt sich für verschiedene Flüssigkeiten: die Abstände der Niveaus beider Flüssigkeiten von der gemeinschaftlichen Grenzfläche verhalten sich umgekehrt wie das specifische Gewicht der Flüssigkeiten. Zugleich ist sichtbar, daß der untere Theil jederzeit ganz von der schwereren Flüssigkeit eingenommen werden muß, die auch noch in einen Theil der anderen Röhre hinüberreicht.

Auf dem Gesetze der communicirenden Röhren beruhen die Wasserwage, in welcher die Niveaus beider Röhren eine genaue horizontale Linie angeben, das Grundwasser in der Nähe von Flüssen, die Einrichtung der Wasserleitungen, u. A. In den Springbrunnen kommt das Wasser durch Röhren aus einem hochgelegenen Bassin herab; da hierbei die eine communicirende Röhre viel kürzer ist, als die andre, so springt das Wasser in die Höhe und würde die Höhe erreichen, in

Fig. 63.



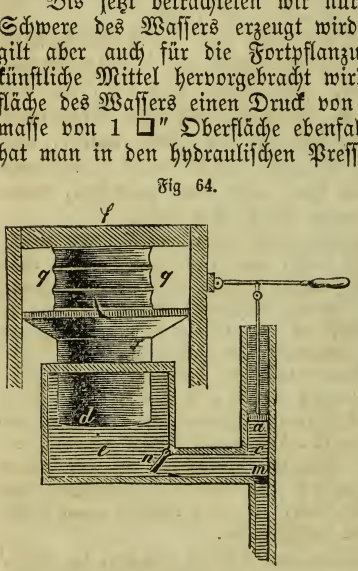
welcher das Niveau des Bassins liegt, wenn nicht der Widerstand der Luft, der Druck der zurückfallenden Tropfen, endlich die an der kleinen Oeffnung verursachte große Reibung bedeutende Hindernisse wären. — Hierher gehören ferner die artesischen Brunnen (Fig. 63.) in der Nähe von Bergen.

Kann das Wasser von einem solchen durch eine Sandschicht mmm, welche zwischen zwei wasserdichten Erdschichten nnn und ppp, z. B. Thon oder Gestein liegt, herabsickern, so springt es, nachdem die obere Schicht durchbohrt ist, aus der Tiefe in die Höhe, so daß es bisweilen noch einige Fuß über die Erdoberfläche steigt.

Gesch. Bem. Die artesischen oder Bohrbrunnen scheinen schon in früheren Jahrhunderten an einzelnen Orten angewendet worden zu sein; es bestanden solche auch im 17. Jahrhunderte in Bologna, Steiermark u. s. w., sie sind aber erst in allgemeineren Gebrauch gekommen, nachdem man im Anfang dieses Jahrhunderts die in der Provinz Artois in Frankreich vorhandenen, von der sie den Namen führen, einer gründlichen Untersuchung unterzogen und ihre weitere Anwendbarkeit erkannt hatte.

Bis jetzt betrachteten wir nur den Druck, der durch die eigene Schwere des Wassers erzeugt wird; das obige Hauptgesetz (§ 19.) gilt aber auch für die Fortpflanzung eines Druckes, welcher durch künstliche Mittel hervorgebracht wird. Erfährt also 1 □″ der Oberfläche des Wassers einen Druck von 1 Pfund, so erleidet jede Wassermasse von 1 □″ Oberfläche ebenfalls einen Druck von 1 Pfd. Dies hat man in den hydraulischen Pressen (Fig. 64.) zur Hervorbringung eines großen Druckes angewendet. Die commmicirenden Röhren c und e sind von sehr verschiedenem Durchmesser; wird nun durch den Kolben a, dessen Grundfläche $\frac{1}{4}$ □″ sei, ein Druck von 40 Pfd. ausgeübt, so wird auch jeder Viertelquadratzoll des Kolbens d einen Druck von 40 Pfd. nach oben erfahren; ist also die Grundfläche desselben 100 □″, so ist der darauf ausgeübte Druck, mit welchem die obere Platte in die Höhe gehoben und die in qq befindliche Sache gegen f gepreßt wird, 16000 Pfd. oder das 400fache der ausgeübten Kraft. Dieser Druck wird gewöhnlich noch sehr verstärkt, indem der Kolben selbst durch einen Hebelarm, also mit einer viel größeren Kraft herabgedrückt wird. Auch hier entspricht dem mechanischen Vortheil ein gleich großer mechanischer Nachtheil; wird nemlich der Kolben d um $\frac{1}{100}$″ gehoben, so wird dadurch in e ein Raum von 1 Kubikzoll frei; soviel Wasser muß also in e gepreßt und vorher durch den Kolben a verdrängt worden sein. Da dieser aber nur eine Grundfläche von $\frac{1}{4}$ □″ hat, so muß er sich selbst um 4″ gesenkt haben, um 1 Kubikzoll zu verdrängen. Während also a sich um 4″ senkt, hebt sich d nur um $\frac{1}{100}$″. — Wie hier ein mechanischer Druck die Wirkung hervorbrachte, so wird auch oft das Wasser in Springbrunnen, wenn die eigene Kraft des Wassers nicht genügt, durch einen mechanischen Druck in die Höhe getrieben.

Fig 64.



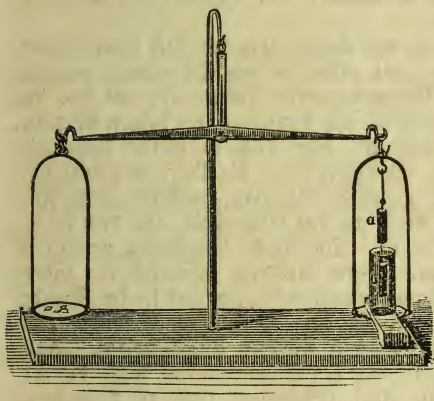
Anm. Ein zweiter wichtiger Theil einer solchen Presse ist die Druckpumpe, zu der der Stempel a und die beiden Klappen m, n gehören: dieselbe wird § 29. erklärt werden. Wegen der Möglichkeit, den Druck auf eine sehr einfache Weise zu einer außerordentlichen Größe zu steigern, benutzt man jetzt diese Pressen vorzugsweise, wo es sich um Ausübung eines sehr starken Druckes handelt, so zur Prüfung eiserner Schiffstaue und der Ketten für Kettenbrücken. So hat man auch die ca. 450 Fuß langen gußeisernen Cylinder, aus denen die 2 neben einander liegenden gewaltigen Röhren bestehen, welche die 1400 Fuß lange Brücke über den Meeresarm nach der Insel Anglesey bei England bilden, mittelst solcher hydraulischen Pressen auf die Thürme gehoben, welche die Pfeiler dieser ungeheuern Brücke sind.

Gesch. Bem. Das Princip der hydraulischen Presse ist von Pascal (G. B. § 34.) angegeben, aber durch Bramah zuerst 1796 in einer Maschine zur praktischen Anwendung gebracht worden.

§ 21. Das Verhalten fester Körper in flüssigen.

Wir wollen jetzt untersuchen, was geschieht, wenn ein fester Körper ins Wasser getaucht wird. a (Fig. 65.) ist ein hohler Cylinder, in den genau der Cylinder b paßt, der an den ersten unten angehängt wird. Nachdem man beide zusammen tarirt hat, läßt man b ganz ins Wasser tauchen; derselbe wird durch den Druck des Wassers gehoben, die andere Wagschale sinkt. Gießt man jetzt in den hohlen Cylinder a Wasser, so wird die Wage erst dann im Gleichgewicht sein, wenn a ganz angefüllt ist. Hieraus ist sichtbar, daß der Druck, mit dem der Cylinder b gehoben wurde, gleich dem Gewichte des in a enthaltenen Wassers, oder, da b genau in a paßt, des durch b verdrängten Wassers ist. So ist allgemein

Fig. 65.



der Druck, den ein in eine Flüssigkeit getauchter Körper erleidet, gleich dem Gewicht der durch ihn verdrängten Flüssigkeit.

Fig. 66.

Der Grund ist leicht einzusehen. Der Körper m (Fig. 66.) wird in die Höhe gehoben mit einer Kraft, die gleich dem Gewicht einer Wassermasse abcde ist, dagegen herabgedrückt mit einer Kraft, die gleich dem Gewichte einer Wassermasse abfde ist, folglich wird er gehoben mit einem Drucke, der gleich dem Gewichte einer Wassermasse bcdf ist, welche durch den Körper verdrängt ist. — Daraus ergiebt sich nun, z. B. warum der Eimer eines Ziehbrunnens sehr leicht gehoben wird, so lange er

noch unter Wasser ist, während er außer demselben eine merkliche Schwere besitzt; warum ein Hund mit Leichtigkeit einen im Wasser befindlichen Menschen ans Land ziehen kann, u. A.

Wenn nun ein fester Körper ins Wasser getaucht wird, so wird er durch das Gewicht des verdrängten Wassers gehoben, durch sein eigenes Gewicht dagegen hinabgezogen. Um also die endliche Wirkung zu erfahren, muß man den Unterschied beider Gewichte suchen. Ist nun

1) der Körper specifisch schwerer, als Wasser, so wird der Körper mit dem Unterschiede beider Gewichte bis auf den Boden hinabsinken,
2) ist er ebenso schwer, als Wasser, so ruht er an jeder Stelle,
3) ist er specifisch leichter, als Wasser, so wird er mit dem Unterschiede beider Gewichte in die Höhe getrieben;

wenn er nun zum Theil über die Oberfläche hervorragt, so verdrängt er weniger Wasser, wird also auch weniger gehoben, und hört endlich auf zu steigen; es ergiebt sich, daß

ein schwimmender Körper so tief eintaucht, daß sein Gewicht gleich dem Gewichte des verdrängten Wassers ist.

Aus diesem Gesetze folgt auch, daß Körper, die specifisch schwerer sind, als Wasser, durch Verbindung mit leichteren zum Schwimmen gebracht werden können, wenn ihr Gesammtgewicht kleiner ist, als das des verdrängten Wassers; dies geschieht am häufigsten bei hohlen Körpern, wo der leichte Körper die Luft ist; aber auch in diesem Falle gilt das zuletzt aufgestellte Gesetz. Beispiele bieten die Pontons von Eisenblech, ein leeres auf Wasser gestelltes Bierglas, verkorkte leere Flaschen, ja die großen Schiffe selbst, da das Eichenholz, aus dem sie gebaut sind, schwerer als Wasser ist. Die Fische schwimmen vermittelst einer Schwimmblase, die unter ihrem Rückgrat befindlich ist; indem sie dieselbe ausdehnen und zusammendrücken können, sind sie im Stande, zu steigen und zu sinken. — Außer dem specifischen Gewichte muß man auch die Lage des schwimmenden Körpers berücksichtigen. Auch hier dient eine möglichste Vertiefung des Schwerpunktes dazu, die Sicherheit des Schwimmens in einer bestimmten Lage zu vermehren. Darum werden die schwersten Theile einer Ladung in den untersten Raum der Schiffe gebracht. Ein länglicher Körper schwimmt gewöhnlich auf seiner größten Seitenfläche; soll er aufrecht schwimmen, so muß er unten sehr beschwert werden, damit sein Schwerpunkt hinreichend tief falle. — Von diesem Schwimmen ist das Schwimmen der Menschen zu unterscheiden, welche den Widerstand des Wassers gegen die drückende Handfläche benutzen, um sich schwebend zu erhalten. Denn obwohl sie gewöhnlich etwas leichter, als Wasser ist, so müssen doch Mund und Nase, und hiermit zugleich ein ziemlicher Theil des Körpers, hervorragen; es ist aber sichtbar, daß der Mensch desto mehr vom Wasser gehoben wird, je mehr er eintaucht, daß er also leichter auf dem Rücken, als auf dem Bauche schwimmt.

Fig. 67.

Aus dem Vorigen ergiebt sich, daß ein Körper um so tiefer eintaucht, je schwerer er in Vergleich zur Flüssigkeit ist, also auch umgekehrt, je leichter die Flüssigkeit in Vergleich zu ihm ist. Darauf beruhen die Aräometer oder Senkwagen (Fig. 67.). Die Güte gewisser Flüssigkeiten läßt sich nemlich nach ihrem specifischen Gewichte bestimmen; so ist Branntwein und Spiritus eine Mischung von Alkohol und Wasser; da nun Alkohol leichter ist, als Wasser, so ist der Spiritus desto besser, je leichter er ist. Ein Aräometer besteht nun aus einer feinen Glasröhre ab, die mit einer Skala versehen ist und unten in eine Kugel c endet, die in m hinreichend beschwert ist, damit das Ganze aufrecht schwimmt. Je tiefer dasselbe in Spiritus eintaucht, desto leichter und besser ist derselbe; daher ist der Nullpunkt, welcher zeigt, wie weit das Aräometer in reinem Wasser eintaucht, unten; die Zahl der Skala aber, bis zu welcher das Instrument einsinkt, giebt die Procente Alkohol an, welche der Branntwein enthält. Umgekehrt liegt bei der Salzspindel der Nullpunkt oben, da die Soole desto schwerer ist, je mehr Salz sie enthält. Ebenso giebt es Bierwagen, Sacharometer oder Zuckermesser, welche aber wenig Zuverlässigkeit gewähren.

Anm. Da der Gewichtsverlust, den ein eingetauchter Körper im Wasser erleidet, gleich dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit ist, so hat man darin ein sehr leichtes Mittel, das Gewicht des Körpers und einer gleich großen Wassermenge und daraus das specifische Gewicht des Körpers (§ 9.) zu finden. Man bedient sich dabei einer Wage (hydrostatische Wage), wie in Fig. 66., die auf der einen Seite ein Häkchen hat, um einen Körper anhängen zu können. Dann wiegt man a) den festen Körper in freier Luft, b) denselben, indem er völlig in Wasser getaucht ist, c) der Unterschied ist das Gewicht des verdrängten Wassers; das Verhältniß zwischen a und c ist das specifische Gewicht des Körpers. — Ist der feste Körper leichter, als Wasser, so verbindet man ihn mit schwereren, so daß er einsinkt, und bestimmt dann a) Gewicht und Gewichtsverlust des schwereren Körpers, b) Gewicht und Gewichtsverlust beider, und findet daraus c) Gewicht und Gewichtsverlust des leichteren, und damit zugleich sein specifisches Gewicht. Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes einer Flüssigkeit wiegt man a) einen festen Körper in der Luft, b) denselben im Wasser, c) denselben in der Flüssigkeit; der Unterschied zwischen a und b giebt das Gewicht des Wassers, der Unterschied zwischen a und c das der Flüssigkeit, das Verhältniß beider das specifische Gewicht der letzteren. — Bei einer anderen Methode wendet man das Nicholson'sche Aräometer (Fig. 68.) an, welches ein hohler Cylinder ist, der aufrecht schwimmt, oben an einem Stifte einen Teller trägt, unten dagegen einen doppelten trichterförmigen Eimer hat. Man legt den Körper auf den Teller und soviel an Tara zu, daß das Aräometer bis zu einer bestimmten Marke m am Stifte einsinkt, b) man legt statt des Körpers so viele Gewichte auf den Teller, daß das Aräometer wieder bis an die Marke eintaucht; c) man legt den Körper, je nachdem er schwerer oder leichter als Wasser ist, in den oberen oder unteren Eimer und so viel Gewichte auf den Teller zu, daß das Aräometer bis zur Marke eintaucht.

Fig. 68.

Das Gewicht b bestimmt das Gewicht des Körpers, das Gewicht c das des verdrängten Wassers; das Verhältniß beider das specifische Gewicht. Für Flüssigkeiten wiegt man a) das Aräometer, b) man legt Gewichte auf den Teller, daß das Aräometer bis zur Marke im Wasser einsinkt, c) man legt Gewichte auf den Teller, daß das Aräometer bis zur Marke in die Flüssigkeit einsinkt; a+b giebt das Gewicht des Wassers, a+c das der Flüssigkeit, das Verhältniß beider das specifische Gewicht der letzteren.

Gesch. Bem. Dem Archimedes wird bereits die Erfindung eines Aräometers zugeschrieben. Man bestimmte dadurch das verschiedene Gewicht des Fluß- und Brunnenwassers.

Zweites Kapitel.

Die Wirkung der Adhäsion auf flüssige Körper.

§ 22. Adhäsion und Capillarität.

Wenn man einen reinen Finger ins Wasser taucht und wieder herauszieht, so sieht man, daß er naß geworden ist, indem Wasser daran hängen geblieben ist. Es findet also eine Anziehung zwischen dem Finger und dem Wasser Statt. Dasselbe geschieht nicht, wenn man den Finger vorher mit Oel oder Fett bestreicht. Während wir bis jetzt blos von der Wirkung der Cohäsion und der Schwere auf die Flüssigkeit gesprochen haben, lernen wir jetzt eine neue Art der Anziehung kennen, die Adhäsion, eine Kraft, vermöge welcher sich die Theile an der Oberfläche zweier Körper nach geschehener Berührung anziehen. Zunächst wollen wir sie von den beiden anderen Arten der Anziehung unterscheiden. 1) Cohäsion findet zwischen den Theilen eines Körpers Statt. 2) Adhäsion zeigt sich zwischen den Theilen zweier Körper, aber nur zwischen Theilen der Oberfläche. Beide zeigen sich nur bei unmittelbarer Nähe der Theile und ihre Stärke ist nach der Beschaffenheit der Körper sehr verschieden. 3) Gravitation zeigt sich zwischen den Theilen desselben oder verschiedener Körper; sie wirkt aber auch in der Entfernung, und ihre Größe hängt von der Masse, nicht von der anderweitigen physikalischen Beschaffenheit des Körpers ab.

Die Adhäsion kann nun zunächst zwischen zwei festen Körpern Statt finden; deshalb haftet der Staub an der Wand, die Kreide an der Tafel, die Spur des Bleistiftes auf dem Papier; ebenso hangen zwei frisch polirte Spiegelgläser, die Hälften einer ebenen zerschnittenen Bleikugel fest an einander. Erscheinungen der Adhäsion, wenn der eine Körper flüssig ist, bietet Wasser dar, welches auf Glas oder Holz gegossen zerfließt, ohne Tropfen zu bilden; dagegen findet das Letztere Statt, wenn das Glas oder der Tisch fettig oder mit Semen Lycopodii (Hexenmehl) bestreut ist; ebenso rollt das Quecksilber in kleinen Kugeln auf dem Tische umher, und der Thau sitzt in Tropfen auf den Pflanzen. Man könnte glauben, es fände eine Abstoßung zwischen dem Quecksilber und dem Holze Statt; doch hängt ein Kügelchen wohl noch an einer behutsam umgekehrten Holzplatte,

so daß sich auch hier Adhäsion zeigt. Nur ist die Cohäsion der Flüssigkeit, vermöge welcher Tropfen entstehen, größer, als die Adhäsion an den Tisch oder die Blätter. Wegen der Adhäsion läuft beim Ausgießen einer Flüssigkeit dieselbe oft an dem Gefäße herab. Besonders wichtig und kräftig ist die Adhäsion bei Flüssigkeiten, die zwischen zwei feste Körper gebracht, nachdem sie erstarrt sind, dieselben durch ihre Adhäsion an jene und die Cohäsion der eigenen Theile mit großer Gewalt zusammenhalten. So wirkt Leim, Kleister, Kitt, das Loth der Klempner u. A. Die Flüssigkeit dringt in die Poren der Körper ein und hält nach dem Erkalten die beiden festen Körper, wie mit tausend Widerhäkchen, zusammen.

Betrachten wir jetzt den Einfluß der drei zusammenwirkenden Kräfte auf die Flüssigkeit in einem Gefäße. Im allgemeinen hat die Schwere bei weitem das Uebergewicht, und daher ist die Oberfläche horizontal; nur an den Rändern zeigt sich ein verschiedenes Verhalten, je nachdem die Adhäsion des Gefäßes zur Flüssigeit oder die Cohäsion der Flüssigkeit überwiegt. Am leichtesten kann man die verschiedenen Wirkungen mit einander vergleichen, wenn man die Hälfte der inneren Seite eines Glases rein läßt, die andere mit Fett bestreicht und Hexenmehl auf das letztere streut. Gießt man dann Wasser hinein, so hebt sich das Wasser am Rande der reinen, senkt sich am Rande der fettigen Seite. Man sieht: ist die Adhäsion überwiegend, so steigt die Flüssigkeit, von dem Gefäße gezogen, an den Rändern, z. B. Wasser in Glas; überwiegt die Cohäsion, welche die Wassertheilchen nach innen zieht, so senkt sich die Flüssigkeit an den Rändern, z. B. Wasser in einem fettigen Glase, ebenso Queckſilber in Glas.

Wenn man sehr feine Glasröhrchen, die man Haarröhrchen oder Capillarröhrchen nennt, in eine Flüssigkeit taucht (Fig. 69.), so ist die Schwere der kleinen Flüssigkeitssäule sehr unbedeutend; daher steigt, wenn die Adhäsion größer, als die Cohäsion ist, die Flüssigkeit in denselben über das Niveau des Gefäßes und bildet eine concave Oberfläche (a, b); überwiegt dagegen die Cohäsion die Adhäsion, so steht die Flüssigkeit (c) in der Röhre unter dem Niveau und hat eine convexe Oberfläche; beide Wirkungen sind um so größer, je enger die Röhren sind. Zieht man im ersten Falle die Röhre heraus, so bleibt noch eine Flüssigkeitssäule in derselben; im zweiten Falle dagegen tritt die Flüssigkeit erst in die Röhre, nachdem sie schon etwas eingetaucht ist.

Fig. 69.

Auf dieser Anziehung, die nur eine besondere Art der Adhäsion ist, und die man Capillarität oder Haarröhrchenanziehung nennt, beruht das Einziehen der Flüssigkeit in Zucker, Schwamm, Löschpapier, Holz, Docht ꝛc., und hierauf wieder die auflösende Kraft der Flüssigkeiten, die, indem sie sich zwischen die einzelnen Theilchen der festen Körper hineinziehen, deren Zusammenhang lösen. Ferner beruht darauf das Einlaufen naßgewordener Kleider, Stricke ꝛc.; indem sich das

Wasser zwischen den Fäden in die Höhe zieht, drängt es dieselben nach der Breite aus einander und zieht daher das Gewebe der Länge nach zusammen, so daß es nach dem Verdunsten des Wassers kürzer geworden ist. Uebrigens kann diese unscheinbare Kraft der Adhäsion von mächtiger Wirkung sein; so benutzt man sie zum Sprengen von Sandsteinen, indem man Keile von frischem Holze, die in Spalten des Steines getrieben sind, befeuchtet, wodurch dieselben aufquellen und den Stein zerreißen; ebenso werden eiserne Bänder bisweilen an hölzernen Pfosten, wenn sie aufquellen, zerrissen, und man benutzt quellende Erbsen zum Sprengen von Schädeln.

Auf der Capillarität beruht auch folgende wichtige, mit dem Namen der Endosmoose bezeichnete Erscheinung. Gießt man in eine unten mit einer Blase zugebundene Glasröhre concentrirte Kupfervitriollösung und taucht sie in ein Gefäß mit Wasser, so wird man schon nach einigen Stunden deutlich sehen, daß die Kupferlösung gestiegen ist, während diese das Wasser allmählich zu färben anfängt; und dies dauert fort, bis auf beiden Seiten die Färbung, also auch die Mischung gleich ist. Die Poren, welche zu klein sind, um das Gesetz der communicirenden Röhren zur Geltung kommen zu lassen, gestatten von beiden Seiten das Durchsickern der Flüssigkeit nach dem Princip der Capillarität. Das Eigenthümliche besteht darin, daß durch die Poren in derselben Zeit von der einen Flüssigkeit, hier dem Wasser, mehr Theilchen hindurchgehen, als von der andern, der Kupferlösung. Statt der letzteren hätte man auch aufgelöstes Kochsalz, Glaubersalz, Alkohol ꝛc. wählen können. Nach diesem Principe geht die Verbreitung der Säfte im Thier- und Pflanzenkörper vor sich.

Gesch. Bem. zur 2. Abth. Die oben im (§ 18.) geführte Ableitung für die Tropfenbildung ist schon von Aristoteles und Archimedes gegeben worden. Ueberhaupt hat auch für die tropfbarflüssigen Körper Archimedes (§ 17.) die richtigen Grundsätze aufgestellt, und sowohl das Hauptgesetz (§ 19.) ausgesprochen, als auch die wichtigsten Folgerungen aus demselben gezogen, namentlich auch das Verhalten fester Körper in flüssigen (§ 21.) gekannt. Aber auch diese Gesetze sind nach ihm völlig unberücksichtigt geblieben und erst von Stevin (§ 17.) und Galilei (§ 7.) aufs neue entdeckt und dann mit Hülfe der Mathematik immer weiter ausgebildet worden, so daß sie erst seit dieser Zeit die Grundlage der physikalischen Untersuchungen bilden.

Dritte Abtheilung. Mechanische Erscheinungen luftförmiger Körper.

§ 23. Luftförmige Körper im allgemeinen.

Wenn wir im gewöhnlichen Leben von Körpern sprechen, pflegen wir uns darunter feste Körper vorzustellen; man wird sich jedoch auch leicht dazu verstehen, die Flüssigkeiten zu den Körpern zu rechnen. Weniger klar dagegen ist es, warum die Luft ein Körper sei. Früher haben wir sie darum zu den Körpern gerechnet, weil sie den Bewegungen der meisten Körper einen störenden Widerstand entgegenstellt. Wenn nemlich ein Körper den Raum einnehmen soll, in welchem sich ein anderer befindet, so muß der letztere weichen und leistet dabei

einen Widerstand. Denn das ist offenbar, daß an dem Orte, an dem sich ein Körper befindet, ein andrer nicht sein kann; so muß das Holz zur Seite weichen, wenn der Nagel eingeschlagen wird, und das Wasser muß in einem Glase in die Höhe steigen, wenn Sand oder Steine hineingeschüttet werden. Diese Eigenschaft der Körper, daß an dem Orte, wo sich ein Körper befindet, nicht zugleich ein andrer sein kann, heißt Undurchdringlichkeit, und sie ist zugleich mit der Ausdehnung, vermöge welcher jeder Körper überhaupt eine räumliche Größe haben muß, wesentliche Eigenschaft eines jeden Körpers, so daß man auch kurz sagen kann: ein Körper ist dasjenige, was einen Raum einnimmt, d. h. 1) er besitzt eine räumliche Größe (Ausdehnung), 2) er nimmt den Raum ein (Undurchdringlichkeit). Darum sind das Spiegelbild, der Schatten, obgleich der letztere eine allseitige Ausdehnung hat, doch keine Körper; das Glas des Spiegels, obgleich es nicht sichtbar ist, ist dagegen ein Körper. Indem man nun an der Luft bemerkt, daß sie einen Widerstand leistet, z. B. dem fallenden Papier, hat man sie mit Recht einen Körper genannt. Denn sie besitzt ebenfalls Undurchdringlichkeit. Dies ergiebt sich noch augenfälliger aus folgenden Versuchen. Taucht man ein leeres Glas umgekehrt in Wasser, so dringt das Wasser nicht in dasselbe ein, weil die Luft, welche selbst nirgends entweichen kann, ihm das Eindringen verwehrt. Ebenso kann durch einen Trichter, der umwickelt ganz genau in den Hals einer Flasche paßt, kein Wasser in die letztere fließen, weil die Luft nicht entweichen kann; Luftblasen, die sich beim Eingießen in Fläschchen mit kleiner Oeffnung bilden, hindern das weitere Hineinlaufen der Flüssigkeit. Eben darauf beruht die Taucherglocke, jetzt gewöhnlich ein länglichviereckiger, unten offener Kasten von Eisen, indem sich Menschen in das Meer und auf den Boden der Flüsse hinablassen, um dort arbeiten zu können; die Luft hindert den Eintritt des Wassers; frische Luft, oben eingepumpt, treibt unten die schlechte ausgeathmete hinaus; starke Gläser in der Decke lassen das Licht herein.

Wir haben bereits oben (§ 8.) gesehen, wie sich luftförmige Körper von den andern unterscheiden; dort haben wir gefunden

luftförmige Körper sind solche, deren Theile das Bestreben haben, sich von einander zu entfernen.

In ihnen hat also die Expansivkraft das Uebergewicht, so daß sowohl ihre Gestalt als auch ihr Volumen veränderlich sind. Mit den tropfbarflüssigen Körpern haben sie die leichte Verschiebbarkeit der Theilchen gemeinsam, und daher rechnet man auch die luftförmigen Körper zu den flüssigen und unterscheidet die flüssigen im engeren Sinne von jenen durch den Zusatz: tropfbar. Zugleich folgt, daß das Hauptgesetz des § 19., welches allein auf der leichten Verschiebbarkeit der Theilchen beruht, daß nemlich ein auf einen Theil ausgeübter Druck sich unverändert nach allen Seiten fortpflanzt, auch von den luftförmigen Körpern gilt. Dagegen unterscheiden sich die luftförmigen Körper von den tropfbarflüssigen durch ihre Expansivkraft. Es muß daher jederzeit eine Kraft da sein, welche der Expansivkraft der Luft entgegenwirkt, und darüber handelt der folgende Paragraph.

Erstes Kapitel.

Der Druck der Atmosphäre an sich.

§ 24. Die Höhe der Atmosphäre.

Die Kraft, welche der Expansivkraft der Luft entgegenwirkt, ist dieselbe, welche alle übrigen Körper an die Erde bindet, die Anziehungskraft der Erde. Wer daran denkt, daß sich die Erde im Weltenraume bewegt, kann schon hieraus schließen, daß die Luft von ihr mit fortgezogen wird und an der Bewegung der Erde Theil nimmt, da wir ja sonst jeden Augenblick die Luftschichten wechseln und einen gewaltigen Zug empfinden müßten. Indem also die Luft der Erde folgt, muß die Schwere in der Nähe der Erde stärker wirken, als die Expansivkraft und die Schwungkraft, von der wir auch bereits wissen (§ 7.), daß sie der Schwere entgegenwirkt. Während nun mit der Entfernung von der Erde die Wirksamkeit der Schwere abnimmt, die Stärke der Schwungkraft dagegen wächst, so wird es eine Grenze geben, wo die Luft eben so stark von der Erde angezogen wird, als sie sich in Folge ihrer Expansivkraft und Schwungkraft von der Erde zu entfernen strebt, und dort wird also die Grenze der Atmosphäre sein müssen. Doch ist die Höhe derselben sehr unbestimmt; bereits in einer Höhe von 7½ M. ist sie so dünn, wie bei der größten Verdünnung durch die Luftpumpe; und schon Keppler (§ 7.) berechnete, daß sie in einer Höhe von 10 Meilen keinen Einfluß mehr auf die Dämmerung (§ 83.) habe. Doch soll damit nicht gesagt sein, daß dort auch die Grenze der Atmosphäre sein soll, die sich vielmehr noch viel weiter erstrecken kann; jedenfalls aber bildet derjenige Theil, in welchem die atmosphärischen Erscheinungen erfolgen, nur eine äußerst dünne Schale um die Erdkugel.

§ 25. Der Druck der Atmosphäre.

Indem die Luft angezogen wird, ist sie selbst schwer, und jedes Lufttheilchen übt somit einen Druck auf die unter ihm befindlichen aus. Um die Größe dieses Luftdruckes zu zeigen, macht man folgenden Versuch, der den Namen des Torricelli'schen führt: Man füllt eine Glasröhre von etwa 32 Zoll Länge (Fig. 70.) ganz mit Quecksilber, verschließt die obere Oeffnung mit dem Finger, dreht die Röhre um, taucht sie in ein Gefäß mit Quecksilber und zieht dann den Finger fort. Dann fällt das Quecksilber um einige Zoll und bleibt etwa in einer Höhe stehen, welche 28 Par. Zoll oder 29 Preuß. Zoll über dem Niveau des Quecksilbers in dem Gefäße beträgt. In diesem Niveau erfährt daher das Quecksilber einen Druck von oben, der dem Gewicht einer Quecksilbersäule von 28 Par. Zoll Höhe gleich ist. Diesem wirkt aber die Atmosphäre entgegen, indem sie das Quecksilber nach unten drückt, und so ist sichtbar, daß

der Druck der Atmosphäre gleich dem Drucke einer Quecksilbersäule von 28 Par. oder 29 Preuß. Zoll Höhe

oder, da das Quecksilber 14mal so schwer als Wasser ist, gleich

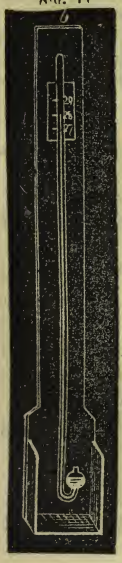
Fig. 70.

dem Druck einer Wassersäule von 32 Par. oder 33 Pr. Fuß Höhe ist.

Dieser Druck findet nun wegen der Eigenthümlichkeit flüssiger Körper nach allen Richtungen hin Statt, und weil er überall in derselben horizontalen Schicht, soweit nicht ein Raum luftdicht verschlossen ist, gleich groß sein muß, so wirkt er eben so stark in dem Innern des Zimmers, als vor dem Fenster im Freien; eben so stark in unserm Körper, als außer demselben. Ist nun eine Fläche 1 Quadratfuß groß, so ist der Druck auf dieselbe gleich dem Gewichte von 33 Preuß. Kbkf. Wasser, ein Gewicht, welches über 2000 Pfd. beträgt und für 1 Quadratzoll über 14 Pfd. ergiebt. Da nun die Oberfläche des menschlichen Körpers etwa 15 Quadratfuß beträgt, so hätte dieselbe einen Druck von mehr als 300 Centn. zu erleiden. Daß uns derselbe nicht fühlbar wird, kommt daher, daß dem äußern Drucke vermöge der im Innern befindlichen Luft ein gleicher Druck von innen heraus entgegenwirkt, so daß zuletzt nur die Haut und die Gefäßwände denselben erfahren. Wenn man jedoch Schröpfköpfe auf einen Theil des menschlichen Körpers setzt, nachdem die Luft in ihnen verdünnt worden ist, so drückt die Luft im Körper stärker, als die in den Schröpfköpfen und treibt dann das Blut in dieselben. Ferner hat man nachgewiesen, daß die Schenkel- und die Oberarmknochen nur durch den Luftdruck in luftdicht schließenden Vertiefungen gehalten und getragen werden, wodurch erst die große Beweglichkeit dieser starken Knochen erklärlich wird.

§ 26. Das Barometer.

Fig. 71



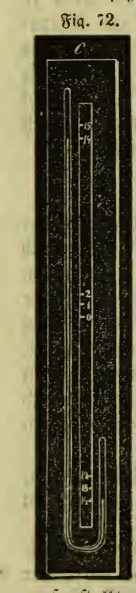
Wie eben erwähnt wurde, ist der Luftdruck in der Höhe geringer, als an der Oberfläche der Erde; aber auch hier ist er keineswegs unveränderlich. Man sucht ihn daher zu messen, indem man der oben erwähnten Röhre noch eine Skala hinzufügt; dann wird dieselbe zu dem allbekannten Instrumente, welches Barometer heißt. Wir wollen nun zunächst diejenige Art eines solchen (Fig. 71.) beschreiben, welche für den täglichen Gebrauch die gewöhnlichste ist. Die Hauptpunkte bei einem solchen Barometer sind folgende:

1) Es besteht aus einer etwa 32 Par. Zoll langen, oben geschlossenen Röhre, welche unten gebogen in eine kleine, oben offene Kugel endigt.
2) In der Röhre und der Kugel befindet sich Quecksilber; über demselben in der Röhre ein luftleerer Raum; auf das Quecksilber der Kugel drückt die atmosphärische Luft.
3) An dem oberen Theile der Röhre ist eine Skala angebracht, welche angiebt, wie viel Par. Zoll und Linien das Niveau des Quecksilbers der Röhre senkrecht über dem der Kugel steht.

Für ein richtiges Verständniß des Barometers kommt es besonders auf die Einsicht folgender Punkte an: 1) der luftleere Raum in der geschlossenen Röhre ist nothwendig, damit nur das Queckſilber den Gegendruck übe; 2) der freie Zutritt der Luft auf der andern Seite ist erforderlich, damit eben der Druck der Luft erkannt werde; 3) die Bestimmung des Luftdruckes hängt nur von der senkrechten Entfernung beider Niveaus des Queckſilbers, nicht von der Dicke der Röhre ab, weil der Druck, den eine Flüſſigkeit erfährt, nur auf ihrer senkrechten Entfernung unter dem Niveau beruht. Daher kann der Luftdruck an der Skala nur abgelesen werden, wenn das Barometer eine genau lothrechte Lage hat. — Uebrigens ergiebt sich leicht, daß Queckſilber der einzige Stoff ist, der zur Füllung eines Barometers geeignet ist, da dazu natürlich eine Flüſſigkeit erforderlich ist und jede andere wegen der weit größeren Leichtigkeit eine viel zu große Röhre nöthig machen würde.

Anm. Das oben beschriebene Barometer, welches nur eine für gewöhnliche Beobachtungen hinreichende Genauigkeit gewährt, heißt Phiolenbarometer; davon verschieden sind das Gefäßbarometer (Fig. 70.), bei welchem, wie in dem § 25. beschriebenen Versuche, die unten offene Röhre in ein Gefäß mit Queckſilber taucht; endlich das Heberbarometer (Fig. 72.), bei welchem die gekrümmte Röhre in eine der ersten parallele, und an Weite ziemlich gleiche, aber kürzere und oben offene Röhre ausläuft. Bei einem solchen müssen beide Röhren mit Skalen versehen sein. — Es ist sichtbar, daß, da durch ein Sinken und Steigen des Queckſilbers in der Röhre auch zugleich ein Steigen und Sinken desſelben auf der andern Seite Statt findet, es für scharfe Beobachtungen nicht genügt, nur den Stand des Niveaus in der längeren Röhre abzulesen. Am unbedeutendsten ist die Veränderung des unteren Niveaus bei den Gefäßbarometern und wird hier nur bei sehr genauen Messungen berücksichtigt; am Phiolenbarometer, wo sie auch nicht gerade bedeutend ist, bleibt sie ebenfalls unberücksichtigt, und hierin liegt die größere Ungenauigkeit dieses Instrumentes; bei Heberbarometern dagegen steigt das Queckſilber in der einen Röhre ungefähr um eben so viel, als es in der andern sinkt; daher müssen bei diesen stets beide Niveaus beobachtet und der Unterschied beider gesucht werden.

Fig. 72.



Je höher man kommt, desto geringer wird die drükkende Luftsäule; desto mehr muß also auch der Luftdruck selbst abnehmen. Man hat gefunden, daß, wenn man eine Höhe von etwa 75 Par. Fuß erreicht, das Queckſilber im Barometer um 1 Par. Linie gefallen ist. Da aber die Luft immer dünner wird, so wird auch die Höhe immer größer, um die man steigen muß, ehe das Barometer um 1 Linie fällt. Indem man hierüber genaue Tabellen aufgestellt und auch die Barometer selbst außerordentlich vervollkommnet hat, ist man im Stande, die Höhe der Berge durch Vergleichung des Barometerstandes am Fuße und auf dem Gipfel mit außerordentlicher Genauigkeit zu messen.

Es ist bereits erwähnt, daß sich der Barometerstand an demselben Orte verändert. Diese Aenderungen, welche etwa zwischen 26″ und

29″ liegen, sind für unser Gefühl nicht bemerkbar; der dadurch angezeigte veränderte Luftdruck hängt aber von verschiedenen Ursachen ab, die auch zu gleicher Zeit von Einfluß auf die Witterung sind, und ist seinerseits selbst Grund zu Aenderungen der Witterung. Dies ist die Veranlassung geworden, das Barometer als Wetterglas zu benutzen, und zwar sieht man das Steigen als Vorzeichen des guten, das Fallen als Vorzeichen des schlechten Wetters an. Der Grund dieses Zusammenhanges kann erst später (§ 109.) erklärt werden. Derselbe veranlaßt auch ein anderes Wetterzeichen, über dessen Entstehung man sich falsche Vorstellungen macht. Man sieht oft nicht mit Unrecht den sinkenden Rauch als Zeichen des schlechten Wetters an, und glaubt, er werde von der schweren Luft herabgedrückt. Da aber gerade der leichtere Körper in die Höhe zu steigen pflegt, so ist sinkender Rauch ein Zeichen, daß die Luft leichter ist, was also mit dem niederen Barometerstande bei schlechterem Wetter übereinstimmt.

Zweites Kapitel.

Die verschiedene Expansivkraft der Luft und ihre Wirkungen.

§ 27. Das Mariotte'sche Gesetz.

Wenn ein und dieselbe Luftmenge auf einen kleineren Raum zusammengedrückt und dadurch ihre Dichtigkeit vermehrt wird, so nimmt auch ihre Expansivkraft zu, d. h. ihr Bestreben, sich wieder auszudehnen, wird verstärkt. Dies sehen wir an dem Blaserohr; die durch das Hineinblasen zusammengepreßte Luft erhält eine größere Kraft und treibt nun die Kugel zum Rohre hinaus. Ebenso treibt die durch eine Compressionspumpe (s. § 29.) in der Windbüchse zusammengepreßte Luft die Kugel hinaus. Darauf beruht ferner die Wirkung des Heronsballes (Fig. 73.). Dies ist ein Fläschchen mit Wasser, luftdicht durch einen Propfen verschlossen, durch den eine Röhre bis unter das Wasser geht. Wird nun die Luft über dem Wasser durch Hineinblasen neuer Luft oder auf andere Weise zusammengedrückt, so treibt sie mit ihrer verstärkten Expansivkraft das Wasser durch die Röhre in feinem Strahle heraus. Leichter verfährt man und erzielt eine stärkere Wirkung, wenn man nur einen gut schließenden Propfen, in welchem die Röhre luftdicht steckt, hineindrückt; hierdurch allein wird schon ein viel stärkerer Strahl hervorgebracht; zieht man dann den Propfen langsam heraus, so sieht man zugleich die durch die Röhre in Blasen wieder eintretende Luft; man erspart hierbei das oft beschwerliche Hineinblasen, kann den Versuch mit Leichtigkeit wiederholen und das Gefäß auch leichter wieder füllen.

Fig. 73.

Hierbei gilt nun das sogenannte Mariotte'sche Gesetz; daß

die Expansivkraft der Luft in gleichem Maaße wie ihre Dichtigkeit wächst.

Wird also die Luft auf die Hälfte oder den dritten Theil des Raumes zusammengedrückt, so daß sie die doppelte, dreifache Dichtigkeit erhält, so wird auch ihre Expansivkraft zwei, dreimal so groß, und es bedarf auch eine zwei, dreimal so große Kraft, sie zusammenzuhalten. Instrumente, die den Druck comprimirter Luft messen, heißen Manometer. Wegen ihrer großen Wichtigkeit zur Bestimmung der in den Dampfmaschinen wirksamen Kraft hat man ihrer Construktion besondere Sorgfalt zugewendet. Die einfachsten bestehen aus 2 communicirenden, Queckſilber enthaltenden Röhren, in deren einer der Stand des Queckſilbers den auf der andern Seite ausgeübten Druck des Dampfes anzeigt; oder die eine kleinere Röhre ist oben verschlossen und enthält eine bestimmte Quantität Luft, welche durch den auf das Queckſilber der anderen Röhre drückenden Dampf in einen immer kleineren Raum zusammengedrängt wird. Bei bedeutendem Drucke sind jedoch die Einrichtungen viel complicirter.

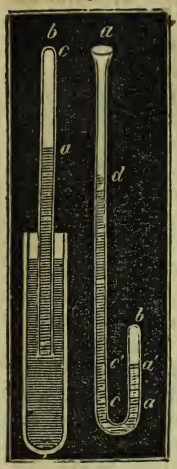
Anm. Um dieses Gesetz richtig aufzufassen, muß man bedenken, daß die Expansivkraft gemessen wird durch den Gegendruck, der der Luft entgegengesetzt wird, daß die Dichtigkeit dagegen aus dem Raume erkannt wird, in den die Luft zusammengepreßt ist, oder auf den sie sich ausgedehnt hat. Man kann daher das Gesetz auch anders ausdrücken, indem man einen der folgenden Vordersätze mit einem der Nachsätze verbindet, oder die dadurch entstehenden Sätze umkehrt:

Wenn die zusammendrückende Kraft oder wenn die Expansivkraft der Luft zu- oder abnimmt, so nimmt auch die Dichtigkeit der Luft in gleichem Maaße zu oder ab, und der Raum, in dem sich die Luft befindet, nimmt in gleichem Maaße ab oder zu.

Soll also z. B. eine leere Flasche umgekehrt so tief ins Wasser getaucht werden, daß sie sich zur Hälfte mit Wasser füllt, die Luft folglich auf die Hälfte des Raumes zusammengedrückt und daher ihre Dichtigkeit doppelt so groß wird, so wird auch ihre Expansivkraft verdoppelt worden sein; diese war aber vorher dem Drucke der äußern Luft oder einer Wassersäule von 33′ gleich; soll nun ein doppelt so großer Druck hervorgebracht werden, so muß die Luft in der Flasche noch den Druck einer Wassersäule von 33′ erleiden, und also das Niveau in derselben 33′ unter dem Niveau der gesammten Flüssigkeit liegen. — Steht ferner in einer oben geschlossenen Röhre, die in Wasser taucht, das Wasser 20″ über dem Niveau des Gefäßes, so hängt die Dichtigkeit der über dem Wasser befindlichen Luft von ihrer Expansivkraft ab. Denkt man sich nun statt der äußeren atmosphärischen Luft eine Wassersäule von 33′, so würde die Wasserschicht in einer Höhe von 20″ über dem jetzigen Niveau den Druck einer Wassersäule von 33′ − 20″ = 31′ 4″ haben; diesen Druck erfährt daher auch die in der Röhre befindliche Luft und übt ihn wieder ihrerseits aus; die Expansivkraft derselben verhält sich also zu der der atmosphärischen Luft, wie 31′ 4″ : 33′ = 94 : 99, und ebenso muß sich die Dichtigkeit derselben zu der der atmosphärischen Luft verhalten, oder die Luft in der Röhre hat sich um $\frac{5}{94}$ ihres früheren Volumens ausgedehnt.

Die Richtigkeit des Mariotteschen Gesetzes muß man sowohl für verdichtete, als auch für verdünnte Luft nachweisen. Für den ersten Fall bedient man sich communicirender Röhren (Fig. 74., a), deren kleinere verschlossen ist. Steht das Queckſilber in beiden gleich bis a und c, so ist der Druck, den die Luft in dem verschlossenen Raume ab erleidet, also auch um-

Fig. 74.

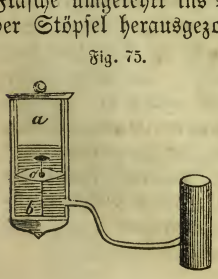


gekehrt ihre Expansivkraft, gleich dem Drucke der atmosphärischen Luft, der durch das Barometer bestimmt wird. Dasselbe stehe auf 28 Par. Zoll. Wird jetzt Queckſilber in der längeren Röhre zugegoſſen, bis der Abſtand c'd beider Niveaus a' und d 14 Par. Zoll beträgt, ſo beſteht jetzt der Druck aus der atmoſphäriſchen Luft und der Queckſilberſäule von 14″, iſt alſo gleich dem Druck einer Queckſilberſäule von 42″; da alſo der Druck $\frac{1}{2}$ mal ſo groß, als vorher, iſt, ſo muß auch der Verſuch genau nachweiſen, daß die Dichtigkeit $\frac{3}{2}$ mal ſo groß geworden iſt, oder der Raum a'b muß $\frac{2}{3}$ des vorherigen betragen. So wird auf der einen Seite durch die Höhe der Queckſilberſäule der jedesmalige Druck und dadurch die Expanſivkraft, auf der anderen Seite der Raum, auf den die Luft zuſammengedrückt iſt, und dadurch die Dichtigkeit beſtimmt. — Für den zweiten Fall taucht man eine zum Theil mit Queckſilber gefüllte Röhre (Fig. 74, b.) umgekehrt in ein Gefäß mit Queckſilber und drückt ſie ſoweit hinein, daß das Queckſilber in der Röhre und im Gefäß gleich hoch ſteht; jetzt übt die Luft in der Röhre eine gleiche Expanſivkraft aus, als die atmoſphäriſche Luft; der Druck derſelben ſei 28″. Zieht man jetzt die Röhre ein wenig heraus, ſo ſteigt das Niveau in derſelben; ſteht es etwa 7″ höher als in dem Gefäß bis a, ſo übt die Luft ac in der Röhre nur eine Expanſivkraft aus, welche 21″ beträgt; dieſelbe verhält ſich alſo zu der früheren, wie 3 : 4; folglich müſſen ſich die Räume, nemlich der, den die Luft gegenwärtig ausfüllt, und der, den ſie früher einnahm, wie 4 : 3 verhalten, oder die Luft hat ſich auf einen Raum ausgedehnt, der um ein Drittel des früheren größer iſt.

§ 28. Die hemmende Wirkung der Expanſivkraft der Luft.

Wir wollen uns jetzt damit beſchäftigen, die vielfachen Wirkungen der Expanſivkraft der Luft oder des Luftdruckes kennen zu lernen und zwar zunächſt, inſofern derſelbe hemmend wirkt. Bedeckt man ein mit Waſſer gefülltes Glas mit einem Blatte Papier, und dreht es langſam um, indem man das Papier mit der flachen Hand feſt an das Glas drückt, ſo wird durch den Luftdruck, auch nachdem man die Hand behutſam weggezogen, das Papier angedrückt, ſo daß kein Waſſer herausfließt. — Stellt man eine mit Waſſer gefüllte, zugeſtöpſelte Flaſche umgekehrt ins Waſſer, ſo fließt das Waſſer nicht aus, nachdem der Stöpſel herausgezogen; die Luft, welche auf das Niveau des äußeren Waſſers drückt, hält es darin ebenſo zurück, wie das Queckſilber im Barometer. Darauf beruht die Einrichtung des Oelkaſtens (Fig. 75.) in den Schiebelampen; derſelbe, ein Cylinder a, wird durch die Oeffnung o mit Oel gefüllt, und dann umgekehrt in einen andern Cylinder b geſteckt; nun fließt zunächſt ſoviel Oel heraus, bis die Oeffnung o des Oelkaſtens in Oel taucht, dann wirkt der Luftdruck hemmend;

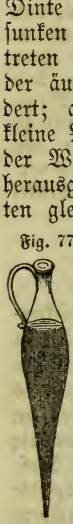
Fig. 75.



und so fließt neues Oel erst wieder aus dem Kasten a, wenn die Oeffnung durch das Verbrennen des ausgeflossenen Oeles frei wird, so daß die Luft durch dieselbe neben dem ausfließenden Oele in den Kasten eindringen kann. Hierdurch soll bewirkt werden, daß trotz des allmählichen Verbrennens der Stand des Oeles in b immer gleich hoch und daher auch der Zufluß zum Docht immer gleich stark ist. — Eine ähnliche Bewandniß hat es mit den Dintenfässern Fig. 76. In dem linken steht zunächst die Dinte in dem trichterförmigen Raume ebenso hoch, als in dem durch den Stöpsel abgeschlossenen; der Druck der äußeren Luft verhindert aber, daß aus dem letzteren weiter Dinte in den Trichter eintrete. Erst wenn der Stöpsel herausgezogen und dadurch der Luftdruck von beiden Seiten gleich groß wird, folgt die Flüssigkeit wieder dem Gesetz der communicirenden Röhren. Aehnlich ist es mit dem rechten Dintenfasse; aus dem innern Raume tritt Dinte erst dann in die Röhre, wenn sie in der letzteren so weit gesunken ist, daß eine Luftblase aus demselben in den innern Raum treten kann. Indem so die Dinte nur in einer kleinen Fläche mit der äußeren Luft in Verbindung steht, wird das Verdunsten verhindert; auch kann bei einem Umstürzen des Dintenfasses nur eine kleine Menge ausfließen. — Aus dem Hahne eines Weinfasses fließt der Wein gar nicht oder nur tropfenweise heraus, bis der Spund herausgezogen ist; dann aber wirkt der Druck von beiden Seiten gleich stark, und die Flüssigkeit kann ihrer eigenen Schwere folgen. Der Stechheber (Fig. 77.) ist ein kleines Gefäß, welches unten in eine schmale offene Röhre ausläuft, und oben ebenfalls eine Oeffnung hat. Taucht man denselben in ein Weinfaß, so steigt die Flüssigkeit im Heber gleich hoch mit dem Niveau des Fasses; schließt man dann die obere Oeffnung und zieht den Heber heraus, so fließen nur wenige Tropfen aus. Es ist nemlich die Expansivkraft der inneren und äußeren Luft zunächst gleich groß, so daß die Flüssigkeit ihrer eigenen Schwere folgt. Hierbei dehnt sich aber die Luft über der Flüssigkeit aus, ihre Expansivkraft wird geringer, und der Druck der äußeren Luft ist im Stande, beiden, der inneren Luft und dem Drucke der Flüssigkeit das Gleichgewicht zu halten; diese hört also auf zu fließen. Sobald aber die obere Oeffnung geöffnet wird, drückt die Luft von beiden Seiten gleich stark und der Wein läuft aus. — In allen diesen Fällen mußte verhütet werden, daß die Luft nicht neben der Flüssigkeit in die Höhe steige; dazu allein diente das Papier im ersten Falle; in den folgenden war es von selbst unmöglich, da die äußere Luft keinen Zutritt zur Oeffnung des Gefäßes hatte; dagegen findet ein tropfenweises Ausfließen aus dem Hahne Statt, wenn dessen Oeffnung groß genug ist, daß etwas Luft daneben eindringen kann, und ebendarum darf die Oeffnung des Stechhebers nur klein sein.

Fig. 76.

Fig. 77.

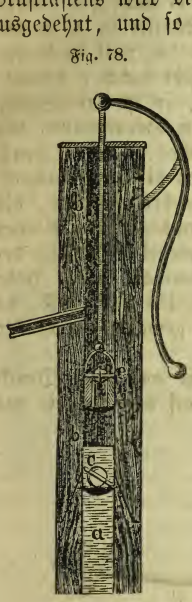


Die bewegende Wirkung der Expansivkraft der Luft.

§ 29. Die Pumpen und die Feuerspritze.

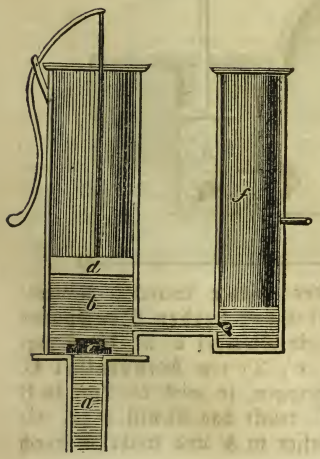
Noch zahlreicher sind die Erscheinungen, in welchen der Luftdruck bewegend wirkt. Das Athmen. Durch die Erweiterung des Brustkastens wird die Luft in den Lungen auf einen größeren Raum ausgedehnt, und so dringt die äußere Luft hinein; durch Zusammendrücken des Brustkastens wird die Luft aus den Lungen wieder herausgetrieben. Derselbe Vorgang findet bei einem Blasebalg Statt. Das Trinken. Die Lippen legen sich luftdicht um Gefäß und Flüssigkeit; wird nun die innere Luft durch Erweiterung des Brustkastens ausgedehnt, so ist der Druck der äußeren Luft stärker und treibt die Flüssigkeit in den Mund. Aehnlich ist es beim Saugen. Die Handspritze, ein mit einer feinen, offenen Spitze versehener Cylinder, in welchem sich ein Kolben luftdicht hin und her bewegt. Taucht man die Spitze ins Wasser und zieht den Kolben zurück, so verdünnt sich die Luft vor demselben und die äußere treibt das Wasser in den Cylinder. Durch den hinuntergestoßenen Kolben wird natürlich auch die Flüssigkeit herausgetrieben.

Fig. 78.



Pumpen. Man unterscheidet Saug- und Druckpumpen. Die Saugpumpe (Fig. 78.) besteht 1) aus dem Saugrohre a, 2) aus dem Stiefel oder Kolbenrohre b, in welchem sich ein Stempel d luftdicht bewegt, 3) aus zwei Ventilen, welche beide, das erstere c am oberen Ende des Saugrohres, das andere e im Kolben befindlich, sich nur nach oben öffnen. Die Druckpumpe (Fig. 79.) besteht 1) aus dem Saugrohr a, 2) aus dem Stiefel oder Kolbenrohre b nebst dem Stempel d, 3) aus dem Steigrohr f, welches unten mit dem Stiefel in Verbindung steht, 4) aus zwei Ventilen, welche sich beide, daß erstere c am oberen Ende des Saugrohrs, das andere e im Steigrohr nach oben öffnen*). Wir unterscheiden zur besseren Uebersicht drei Räume,

Fig. 79.

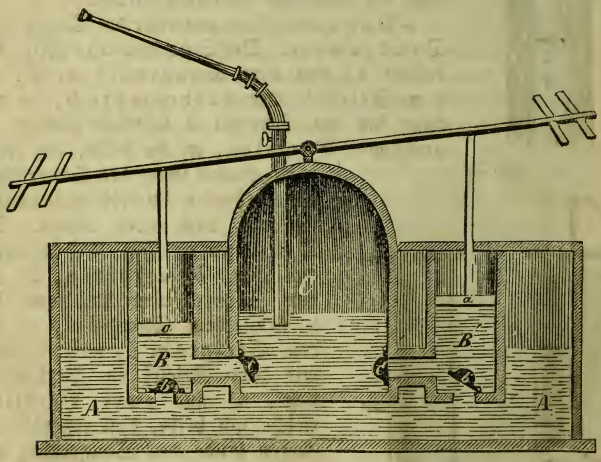


*) Eine solche Druckpumpe befand sich z. B. an der hydraulischen Presse im § 20.

1) das Saugrohr A, 2) den veränderlichen Raum B zwischen beiden Ventilen und dem Stempel, 3) den Raum C über dem zweiten Ventil e, der also bei der Saugpumpe über dem Stempel, bei der Druckpumpe im Steigrohre liegt. Denkt man sich zunächst den Kolben d unmittelbar über dem Ventile c, und wird derselbe nun in die Höhe gezogen, so dehnt sich die Luft in A und B aus; die äußere Luft schließt das Ventil e, treibt dagegen das Wasser in A in die Höhe. Wird der Kolben herabgestoßen, so wird die Luft in B zusammengedrückt, sie schließt das Ventil c und geht durch e heraus. Hat sich dies ein oder mehrere Male wiederholt, so ist das Wasser in A auf eine solche Höhe gebracht, daß es beim Heraufziehen des Kolbens aus A durch c in B tritt, beim Herabstoßen aus B durch e in C getrieben wird und hier nach einigen Zügen bis zum Ausgußrohr gehoben werden kann. — Die untere Fläche des Kolbens, bis zu welcher das Wasser durch den äußeren Luftdruck gehoben werden muß, darf nicht höher, als 33′ über dem Wasserspiegel liegen, da der Luftdruck nur eine solche Wassersäule zu tragen vermag. Diese Höhe vermindert sich aber in der Regel noch bedeutend, bis auf 20 F., da die Ventile und Röhren nicht gerade luftdicht gemacht zu werden pflegen.

Die Feuerspritze. (Fig. 80.). Sie besteht aus zwei Druckpumpen und dem Windkessel, dessen Einrichtung auf dem Princip des

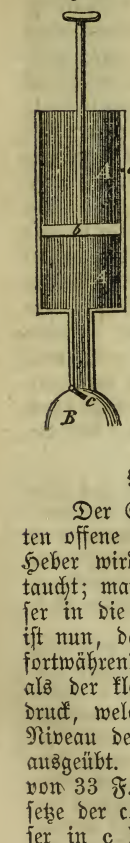
Fig. 80.



Heronsballes beruht. Wir unterscheiden wieder dreierlei Räume: 1) die Wasserlade A, 2) die Stiefel der beiden Druckpumpen B und B′, in jeder derselben sind ein Stempel a, a′, die Saugventile b, b′ und die Druckventile c, c′, 3) den Windkessel C. Wird jetzt der Kolben a in die Höhe gezogen, so wird die Luft in B ausgedehnt, die Luft des Windkessels C drückt das Ventil c zu, die äußere Luft dagegen drückt auf das Wasser in A und treibt es durch

b in B; wird hierauf der Kolben a heruntergestoßen, so drückt das Wasser in B das Ventil b zu und wird durch c in C getrieben. Zu gleicher Zeit wird der Kolben a′ durch die Hebelstange in die Höhe gezogen, das Ventil c′ geschlossen, das Wasser dagegen durch den Luftdruck aus A durch b′ in B′ getrieben. Durch fortgesetztes Pumpen wird nun jederzeit auf der einen Seite durch die äußere Luft Wasser aus A in B oder B′ gedrückt, und zugleich auf der anderen Seite durch den herabgehenden Kolben das Wasser aus B′ oder B in C getrieben. Hier in C wird die Luft durch das hineintretende Wasser zusammengedrückt und treibt, indem sie sich auszudehnen strebt, das Wasser durch das Ausgußrohr in einem Strahle heraus.

Fig. 81.



Die Compressionspumpe (Fig. 81.) ist ein Cylinder A mit einer Seitenöffnung a, in welchem sich ein Kolben b luftdicht hin- und herschieben läßt. An dem unteren Ende ist eine nur nach unten sich öffnende Klappe c, die nach demjenigen Raum B mündet, in welchem die Luft verdichtet werden soll. Die in A befindliche Luft wird bei dem Hinabstoßen des Kolbens durch c in B getrieben. Beim Heraufziehen schließt sich c; wenn der Kolben über a gelangt, so dringt durch a neue Luft in A, die, wie vorher, in B hineingetrieben wird. Man benutzt die Compressionspumpe zum Laden der Windbüchse und bei neueren physikalischen Untersuchungen zur Compression der Gase. Großartige Compressionspumpen dienen gegenwärtig, die Bohrmaschinen in Bewegung zu setzen, welche zur Hervorbringung des Tunnels für die Eisenbahn durch den Mont Cenis in Thätigkeit sind, und zugleich in diesen abgeschlossenen Räumen den erforderlichen Luftwechsel zu erzeugen.

§ 30. Der Saugheber und die Mariottesche Flasche.

Der Saugheber (Fig. 82.) ist eine gekrümmte, an beiden Seiten offene Röhre, deren einer Arm länger ist, als der andere. Der Heber wird mit dem kürzeren Arme in ein Gefäß mit Wasser getaucht; man saugt an der Oeffnung des längeren, dadurch tritt Wasser in die Röhre und strömt in die längere über. Das Auffallende ist nun, daß auch, nachdem man aufhört zu saugen, die Flüssigkeit fortwährend durch den längeren Arm ausfließt, natürlich nur so lange, als der kleinere Schenkel noch in das Wasser eintaucht. Der Luftdruck, welcher auch diese Erscheinung bewirkt, wird sowohl auf das Niveau des Gefäßes, als auch auf das Ende des längeren Armes ausgeübt. Denkt man sich denselben durch Wassersäulen ac und bd von 33 F. Höhe ersetzt, so kann man den Vorgang nach dem Gesetze der communicirenden Röhren beurtheilen. Da nemlich das Wasser in c höher steht, als in d, so muß es nach der letzteren Seite hin fließen. Hebt man dagegen den längeren Arm so in die Höhe, daß die Oeffnung eben so hoch, als das Niveau des Gefäßes steht, so hört das Ausfließen auf, und hebt man ihn noch höher, so fließt

Fig. 82.

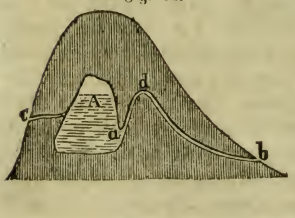
das Wasser nach dem Gefäße zurück. Aus der obigen Betrachtung ergiebt sich auch, was geschehen müßte, wenn der Luftdruck nur im Stande wäre, eine Wassersäule zu tragen, die kleiner als ef wäre. Denkt man sich nemlich die Länge der Röhren ac und bd kleiner als ef, so muß das Wasser von f aus nach beiden Seiten abfließen, bis es mit a und b gleich hoch steht, und dies wird bei hinreichend vermindertem Luftdrucke eintreten. Wenn also auch das Wasser genöthigt wird, bergauf zu fließen, so dürfte doch, wie man sieht, der höchste Punkt f nicht 33′ über dem Wasserspiegel liegen. — Man erkennt zugleich aus der Herleitung, daß die Bewegung selbst durch die Verschiedenheit des Niveaus in a und b hervorgebracht wird, während der von beiden Seiten gleich starke Luftdruck nur dazu dient, das Wasser zusammenzuhalten, so daß es nicht nach beiden Seiten aus einander fließen kann. Das Wasser hört aber auch auf zu fließen, wenn der Luftdruck auf der linken Seite so vermindert ist, daß c mit d gleich hoch steht, daß also der Luftdruck rechts dem Luftdrucke links und einer Wassersäule gleich dem Abstande der beiden Niveaus bei a und b das Gleichgewicht zu halten vermag. Dies kann durch folgenden Versuch bestätigt werden. Der Deckel eines mit Wasser gefüllten Gefäßes (Fig. 83.) hat zwei Oeffnungen, durch deren eine ein Heber geht, welcher angesaugt fließen wird. Verschließt man nun die andere mit dem Finger, so wird die Luft durch das Auslaufen des Wassers so verdünnt, daß der Heber sehr bald zu fließen aufhört.

Fig. 83.

Anm. Der Grund der Bewegung wird auch leicht erkannt, wenn man den Druck bestimmt, den ein Wassertheilchen in f von beiden Seiten her erfährt; er ist auf der linken Seite gleich dem Drucke der Wassersäule gc, auf der rechten gleich dem von kd, und da offenbar der erstere größer, als der letztere ist, so fließt das Wassertheilchen in f nach rechts.

Auf dem Principe des Hebers beruhen auch viele Quellen, die nur in gewissen regelmäßigen Zwischenräumen, z. B. alle 24 Stunden nur 5 Stunden fließen, und andere, die bei trockenem Wetter fließen, bei starkem Regen versiegen. Denkt man sich heberförmige Bildungen im Gesteine (Fig. 84.), so ersieht man, daß, wenn bei b der Ausfluß der Quelle und A der Raum für das Ansammeln des Quellwassers ist, die Quelle bei b erst zu fließen anfängt, wenn sich das Niveau des Wassers in A bis d gehoben hat, und dann so lange fortfährt, als die

Fig. 84.



Oeffnung a noch im Wasser steht. Ist umgekehrt in c der Ausfluß der Quelle, so wird derselbe aufhören, nachdem durch starkströmenden Regen das Wasser in A bis d gestiegen ist, weil dann die ganze Wassermasse durch den heberförmigen Gang einen andern Abfluß erhält.

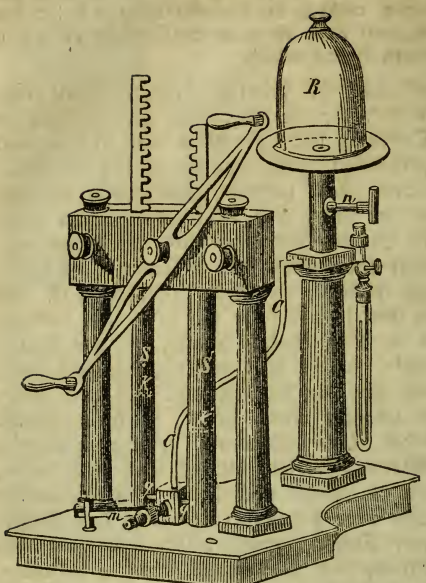
Fig. 85.

Die Mariottesche Flasche (Fig. 85.) ist eine gewöhnliche Flasche, die an einer ihrer Seitenwände in x eine feine Oeffnung hat. Nachdem man dieselbe mit etwas Wachs geschlossen, gießt man die Flasche voll Wasser und setzt dann einen luftdicht schließenden Propfen auf, durch den eine unten und oben offene Röhre geht. Das Wasser im Innern kann nur durch die Röhre entweichen und steigt daher zunächst in derselben in die Höhe, und um so mehr, je tiefer die Röhre gestoßen wird; die untere Oeffnung derselben befinde sich in b, also unter x. Oeffnet man x, so läuft Wasser heraus, und das Wasser in der Röhre sinkt, bis es in y mit x gleich hoch steht. (1.) — Hierauf hört der Ausfluß auf. (2.) — Zieht man die Röhre langsam etwas höher, so sinkt zunächst das Niveau in der Röhre ein wenig, steigt aber sogleich wieder, indem durch x Luftblasen eintreten, die sich über dem Wasser ansetzen. (3.) — Zieht man die Röhre noch höher, daß ihre untere Oeffnung sich etwa in c, also über y befindet, so läuft das Wasser aus x mit ganz gleichmäßiger Stärke heraus, während durch c Luft eintritt. (4.) — Ist das Niveau des Wassers bis unter c gesunken, so fängt das Wasser an, allmählich immer langsamer auszufließen. (5.) Stößt man die Röhre wieder unter x, so hört der Ausfluß sogleich auf. — Auch diese Vorgänge erklären wir uns am leichtesten nach dem Gesetz der communicirenden Röhren, wenn wir uns den Luftdruck durch Wassersäulen von 33′ ersetzt denken; derselbe wirkt einmal auf x, zweitens auf das Niveau des Wassers in der Röhre. Steht (1.) das Wasser in der Röhre höher, als x, so steht auch f höher, als g; folglich fließt das Wasser von links nach rechts, oder durch x aus, bis (2.) das Wasser in x und y, und also auch in f′ und g gleich hoch steht. Sinkt (3.) das Niveau unter y, so fließt das Wasser von g nach f″, oder Luft tritt durch x ein. Steht endlich (4.) das Niveau bis c über x, so steht auch f höher als g und es findet nun ein fortwährendes Strömen von links nach rechts oder von f nach g, d. h. ein Ausfluß aus x Statt, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die dem Drucke der Wassersäule ff′ oder cy entspricht. Ist aber (5.) das Niveau noch unter c gesunken, etwa bis d, so entspricht der Druck nur noch einer Wassersäule dy. Die Luft über dem Wasser (in 4.) ist etwas dünner, als die äußere, indem ihr Druck, wenn das Wasser in z steht, nur der Wassersäule zf″ entspricht.

§ 31. Die Luftpumpe.

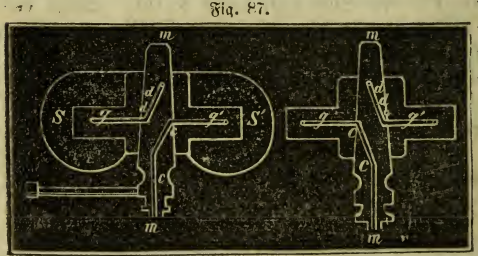
Wir kommen nun zu der Luftpumpe (Fig. 86.), einem der für die Physiker wichtigsten Apparate. Auch in ihr beruht der Vorgang auf der bewegenden Wirkung der Expansivkraft der Luft. Wir unterscheiden drei Haupttheile: 1) den Recipienten R, den Raum, in

Fig. 86.



welchem die Luft verdünnt werden soll, gewöhnlich eine große Glasglocke, die auf einen Teller gesetzt wird; 2) den oder die Stiefel S, S' mit den Kolben k, k', welche vollkommen luftdicht in den Stiefeln auf- und abbewegt werden, was bei einer zweistiefligen Luftpumpe gewöhnlich durch gezahnte Stangen so geschieht, daß, während der eine Kolben steigt, der andere sinkt; 3) das Verbindungsrohr C (Communicationsrohr), welches den Recipienten mit den Stiefeln verbindet, indem es sich unten in zwei Arme g, g' theilt. Außerdem sind noch zwei doppelt durchbohrte Hähne zu bemerken. Der eine Hahn n hat die in der Figur nicht gezeichneten Durchbohrungen aa und bb, von denen die erste R mit der äußeren Luft, die zweite bei anderer Stellung des Hahnes R mit C in Verbindung setzt; der Hahn m (Fig. 87.) hat die Durchbohrungen cc und dd; die erstere setzt den Stiefel, nach dem sie gerichtet ist, mit der äußeren Luft, die andere zu gleicher Zeit den andern Stiefel mit C in Verbindung. Stellt man nun den Hahn n so, daß die Durchbohrung bb wirksam ist, und dreht d nach S, also c nach S', so kann die Luft in R einen Weg nehmen, der durch folgende Buchstaben RbbCddgS hinreichend bezeichnet ist. Wird jetzt k in die Höhe gezogen, so dehnt sich die Luft in R und C auch zugleich auf S aus und wird dadurch verdünnt. Unterdessen hat der herabgedrückte Kolben k' die Luft aus S' durch g'cc in die äußere Luft getrieben. Dreht man jetzt den Hahn m, so daß d nach S', c nach S gewendet ist, zieht k' in die Höhe, drückt also k herab, so wird jetzt die Luft in R und C auch auf S' ausgedehnt, die in S enthaltene herausgetrieben, u. s. w. — Statt des Hahnes m wendet man auch Ventile an. Durch den

Fig. 87.



Kolben jedes Stiefels geht nemlich ein in ihm verschiebbarer Stab, welcher unten einen die Oeffnung g genau verschließenden Kegel, oben aber ebenfalls einen Ansatz hat, durch den der Stab, sobald er nur ein wenig, zugleich mit dem Kolben, gehoben ist, gegen die obere Fläche des Stiefels anstößt und sehr nahe über g stehen bleibt. Beim Herabgehen des Kolbens wird der untere Kegel sogleich wieder auf die Oeffnung gedrückt und schließt dieselbe. Im Kolben befindet sich ein zweites Ventil, welches beim Herabgehen des Kolbens der im Stiefel befindlichen Luft den Ausgang gestattet. — Ist endlich der Versuch beendet, so daß man Luft wieder zutreten lassen will, so dreht man den Hahn n, so daß die Durchbohrung aa wirksam wird, durch welche dann die äußere Luft in R einströmt. — Betrüge der Raum des Stiefels etwa die Hälfte des Raumes von R und C zusammen, so würde die Luft beim ersten Aufzuge um $\frac{2}{3}$ verdünnt; bei dem zweiten Aufzuge würde sie wieder um $\frac{2}{3}$ ihrer Dichtigkeit verdünnt, also auf $\frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3}$ oder $\frac{4}{9}$, und so bei dem 3., 4., 5. Zuge auf $\frac{8}{27}$, $\frac{16}{81}$, $\frac{32}{243}$ oder nahe $\frac{1}{8}$ der ursprünglichen Dichtigkeit gebracht. So wird also die Verdünnung sehr schnell zunehmen, wenn sämmtliche Räume vollkommen luftdicht schließen. Man sieht zugleich, daß die Verdünnung um so schneller vor sich geht, je kleiner der aufgesetzte Recipient ist; aber auch, daß durch die Luftpumpe nie ein luftleerer Raum, sondern nur eine Luftverdünnung hervorgebracht wird. Man nennt einen solchen Raum die Guerikesche Leere (s. § 34.) und unterscheidet ihn von dem vollkommen luftleeren Raume, der sich über dem Queckſilber des Barometers befindet, den man Torricellische Leere nennt. — Um den Grad der hervorgebrachten Verdünnung zu messen, bedient man sich eines kleinen Heberbarometers, welches mit dem Recipienten in Verbindung steht. Das Queckſilber fängt in der geschlossenen, etwa 6—8″ hohen Röhre erst zu sinken an, wenn die Verdünnung bereits etwas vorgeschritten ist; steht es etwa auf 6‴ und beträgt der Barometerstand 28″ oder 336‴, so ist die Verdünnung $\frac{6}{336}$ oder $\frac{1}{56}$. Da der allerdings möglichst verkleinerte Raum g' (schädliche Raum) bei der linken Stellung des Hahnes mit äußerer Luft gefüllt bleibt, auch nachdem der Kolben k' herabgedrückt ist, so kann die Verdünnung auf diesem Wege nicht mehr fortgesetzt werden, wenn die in RCdd enthaltene Luft an Gewicht gleich der g' enthaltenen äußeren Luft ist; denn bei der nächsten Stellung des Hahnes würde in jenen Raum aus g' ebenso viel hineintreten, als vorher ausgepumpt wäre. Andre Vorkehrungen, die Verdünnung noch weiter fortzusetzen, müssen hier unerwähnt bleiben; aber auch durch sie ist eine vollkommene Luftleere nie zu erzielen. Die Größe der Verdünnung wird wohl selten bis auf $\frac{1}{2}$‴, also auf c. $\frac{1}{600} - \frac{1}{700}$ gebracht werden.

§ 32. Versuche mit der Luftpumpe.

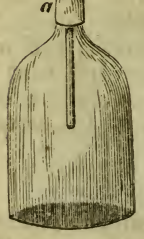
Die Versuche mit der Luftpumpe beziehen sich auf fast alle Theile der Physik. Wir führen zunächst diejenigen an, welche unmittelbar den Druck der äußeren Luft beweisen. Der Recipient wird beim Auspumpen der inneren Luft von der äußeren auf das festeste an den Tel-

ler gedrückt; eine Blase, die luftdicht über einen Cylinder gespannt ist, wird von der äußeren Luft zersprengt, wenn die innere herausgepumpt ist; die Magdeburger Halbkugeln werden zusammengepreßt.

Fig. 88.

Dies sind zwei starke genau auf einander passende metallene Halbkugeln (Fig. 88.) mit Handgriffen; pumpt man durch den Hahn a, der auf den Teller geschraubt wird, die Luft heraus, schließt dann den Hahn und schraubt das Ganze ab, so lassen sich die beiden Hälften nur mit großer Gewalt von einander reißen, sehr leicht dagegen, wenn man wieder Luft eintreten läßt. Umgekehrt zeigt sich in vielen Versuchen der im Innern der Körper wirkende Luftdruck, wenn die umgebende Luft unter dem Recipienten verdünnt wird. Eine schlaffe, aber luftdicht zugebundene Blase, ein runzlichter Apfel schwellen auf; der Heronsball fängt an zu springen; taucht man ein mit Wasser fast ganz gefülltes Probirgläschen umgekehrt in ein Gefäß mit Wasser, so läuft das Wasser bei der Verdünnung der Luft zum Theil aus, füllt sich dagegen wieder, sobald Luft unter den Recipienten gelassen wird. Macht man in den spitzen Theil eines Eies eine Oeffnung und legt es in eine Tasse, so drückt die Luft unter dem Häutchen den Inhalt in die Tasse, der bei Zutritt der Luft wieder zurückgedrängt wird. — Ein Stück Holz, ein Glas mit Wasser überziehen sich am Rande mit den aus dem Innern heraustretenden Luftblasen. — Mehrere andere Versuche können hier nur angeführt werden, finden ihre Erklärung aber erst später: lauwarmes Wasser fängt an zu kochen (§ 101.); setzt man ein Uhrgläschen mit Wasser auf eine Korkscheibe und unmittelbar darüber ein flaches Schälchen mit Schwefeläther, so wird durch die lebhafte Verdunstung des letzteren das Wasser zum Gefrieren gebracht (§ 102.); Lichter verlöschen, wobei dann der Rauch zu Boden sinkt, Thiere sterben (§ 35.). — Zur Anstellung einiger anderen Versuche muß der Recipient mit

Fig. 89.



einer sogenannten Lederbüchse versehen sein; an dem oberen Theile der Glasglocke (Fig. 89.) befindet sich nemlich dann eine messingene Hülse a, die mit Leder ausgefüttert ist, so daß sich in derselben ein Stab luftdicht bewegen läßt; hierdurch kann man von außen auf den Raum unter dem Recipienten einwirken. Auf diese Weise kann man dann zeigen, daß der Klang einer angeschlagenen Glocke desto schwächer wird, je dünner die Luft ist (§ 76.); daß ein Geldstück und eine Feder gleich schnell fallen (§ 4.) u. A. Neuerdings hat die Luftpumpe auch eine mannigfache Anwendung für medicinische und andere praktische Zwecke erfahren; so wird das Reinigen des Zuckers, das Nässen einer größeren Menge Papiere vortheilhaft dadurch ausgeführt, daß man auf der einen Seite die Luft verdünnt und dann die Flüssigkeit von dem äußeren Luftdruck durch die Poren der festen Körper hindurchtreiben läßt.

Eben haben wir gesehen, daß aus Holz und Wasser Luft heraustrat, die vorher in diesen Körpern enthalten war; man sagt, die Körper absorbiren Luft. Diese Absorption ist oft außerordentlich groß; so vermag ausgeglühte Kohle das Zwanzigfache ihres eigenen Volumens an atmosphärischer Luft, reines Wasser von einer Luftart, die Ammoniakgas heißt (§ 43.), das 700fache seines Volumens, und namentlich sehr fein gepulvertes Platina, welches man Platinaschwamm nennt, das 200fache von Sauerstoffgas und das 728fache von Wasserstoffgas aufzunehmen (§ 36.). Es kann diese Erscheinung als eine Folge der Adhäsion angesehen werden. Die Menge des absorbirten Gases ist nach der Natur der Gase und des aufnehmenden Körpers verschieden, kann aber durch mechanischen Druck sehr vergrößert werden. So wird die Kohlensäure, ebenfalls eine Luftart (§ 37. und 50.), in den schäumenden Getränken, Bier, Champagner, Selterser Wasser u. A. durch den Druck der Flasche und des Pfropfens zusammengehalten, so daß die Flüssigkeit ganz klar erscheint; die Luft entweicht aber sogleich unter heftigem Brausen, sobald der Druck aufgehoben wird. Ebenso wird bei größerer Kälte eine größere Menge Luft von der Flüssigkeit absorbirt, die bei Erwärmung in Bläschen entweicht.

Durch die Luftpumpe ist man auch in den Stand gesetzt, das specifische Gewicht der Luftarten zu bestimmen. Zu diesem Zwecke wiegt man einen Ballon von dünnem Glase, pumpt dann die Luft heraus und wiegt ihn jetzt luftleer, so erhält man das Gewicht der darin enthaltenen Luft; füllt man ihn dann mit andern Gasarten, so kann man auch das Gewicht dieser bestimmen. Man hat gefunden, daß das Wasser 772 mal so schwer, als die atmosphärische Luft ist, daß die letztere dagegen 14 mal so schwer, als Wasserstoffgas ist (§ 36.). Ueberhaupt vergleicht man das specifische Gewicht der Luftarten mit dem der atmosphärischen Luft, giebt also an, wie viel mal so schwer ein bestimmtes Volumen der untersuchten Luft ist, als ein gleich großes Volumen atmosphärischer Luft bei gleicher Temperatur und gleicher Expansivkraft. Man hat gefunden, daß das spec. Gewicht des Chlors $2\frac{1}{2}$, der Kohlensäure $1\frac{1}{2}$, des Sauerstoffes $\frac{1}{10}$, des Stickstoffes $\frac{97}{100}$, des Ammoniaks $\frac{3}{5}$, des Kohlenwasserstoffes $\frac{5}{9}$, des Wasserdampfes $\frac{5}{8}$ ist.

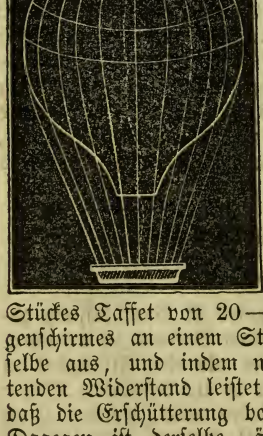
Die hebende Wirkung der Expansivkraft der Luft.

§ 33. Die Luftschifffahrt.

Die große Leichtigkeit des Wasserstoffgases ist Veranlassung geworden, dasselbe zum Aufsteigen damit gefüllter Ballons zu benutzen. Da die Luft wegen ihres allseitigen Druckes als eine Flüssigkeit zu betrachten ist, so gilt auch für sie, daß jeder in ihr befindliche Körper von ihr mit einem Drucke nach oben getrieben wird, welcher gleich ist dem Gewichte der verdrängten Luft, (vergl. § 21.). Ist also ein Ballon mit einer Luftart gefüllt, so wird er von der äußeren Luft in die Höhe getrieben, von dem Gewichte der inneren Luft dagegen und des Ballons herabgezogen. Die Differenz des Gewichtes bei-

der Luftarten muß also größer sein, als das Gewicht des Ballons, wenn er steigen soll. Der Ballon wird aufhören zu steigen, sobald jene Differenz seinem Gewichte gleich ist. Da aber die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft mit der Höhe abnimmt, so wird die größere Expansivkraft des Gases den Ballon zu zerreißen streben, und der Luftschiffer wird Gas herauslassen müssen, so daß im allgemeinen die äußere Luft und das Gas in gleichem Verhältnisse an Dichtigkeit, und daher auch an Schwere abnehmen; in gleichem Maaße nimmt aber auch ihre Differenz ab, und so tritt endlich der Zeitpunkt ein, wo dieselbe dem Gewichte des Ballons gleich ist. Da die Hülle nie ganz luftdicht ist, so fängt der Ballon bald nachher wieder an zu fallen. — Zur Füllung des Ballons benutzte man zuerst warme Luft, welche leichter ist, als kalte; in dem unten offenen Ballon wurde die Luft durch lebhaftes Strohfeuer erhitzt und ausgedehnt, außerdem waren im Innern ringsherum eine Anzahl Lampen eingehängt, um die Wärme der Luft durch Anzünden oder Löschen derselben zu verstärken oder zu vermindern, je nachdem man steigen oder fallen wollte; um den Ballon ging eine Gallerie. Gewöhnlicher benutzt man leichte Gase, früher Wasserstoffgas, welches jedoch zu diesem Zwecke nicht rein ist und daher nur ein specifisches Gewicht von $\frac{1}{7}-\frac{1}{10}$ hat, jetzt Steinkohlengas. Mit dem Gase wird der Ballon (Fig. 90.) gefüllt, dann verschlossen; an einem Netze, welches um denselben gezogen ist, hängt die Gondel; ein Seil, von dieser nach der Spitze des Ballons gehend, öffnet und schließt eine dort befindliche Klappe zum Herauslassen des Gases. Ein weiteres Steigen wird dadurch bewirkt, daß man Ballast, der in Säcken voll Sand besteht, behutsam ausschüttet, wodurch das Gewicht des Ganzen vermindert wird. — Man ist noch nicht im Stande, die Ballons zu lenken; doch kann man, da in den verschiedenen Höhen die Winde eine verschiedene Richtung zu haben pflegen (§ 107.), durch Steigen und Fallen einigermaßen dahin wirken, in eine Luftschicht zu gelangen, deren Strömung die beabsichtigte Richtung hat. — Um im Falle der Noth sich aus dem Ballon herablassen zu können, bedient man sich des Fallschirmes, eines großen, kreisrunden Stückes Taffet von 20—30 F. im Durchmesser, nach Art eines Regenschirmes an einem Stiele befestigt. Beim Sinken breitet sich derselbe aus, und indem nun die Luft der großen Fläche einen bedeutenden Widerstand leistet, kann der Schirm nur langsam fallen, so daß die Erschütterung beim Erreichen des Erdbodens nicht groß ist. Dagegen ist derselbe, ähnlich einem fallenden Blatte, bedeutenden Schwankungen ausgesetzt.

Fig. 90.



Gesch. Bem. Außerordentliches Aufsehen erregte die erste Entdeckung der Luftballons. Sie geschah durch die Gebrüder Montgolfier, eifrige

Freunde und Kenner der Naturlehre, damals Papierfabrikanten zu Annonay, im J. 1782. Sie erhitzten die Luft in einem leinenen Ballon durch Verbrennen von Papier. Nachdem der Versuch im Kleinen gelungen, wurde er auch im Großen ausgeführt, indem sie am 5. Juni 1783 einen Ballon auf 6—7000 Fuß steigen ließen. Sie schrieben die Wirkung einem eigenen Gase zu, welches sich durch die Verbrennung des Strohes erzeugen sollte. Nachdem dieser Versuch bekannt geworden war, ließ der Prof. Charles in Paris schon 2½ Mon. nachher einen ähnlichen Ballon, mit Wasserstoffgas gefüllt, steigen. Im October unternahmen Pilatre de Rozier und der Marquis d'Arlandes die erste Luftschifffahrt in einer Montgolfiere, d. h. einem mit erwärmter Luft gefüllten Ballon, und noch am 1. Decbr. d. J. auch Charles mit Robert eine solche in einem Ballon der zweiten Art, einer Charliere. — Die erste Idee des Fallschirmes hatte Le Normand 1783, als er hörte, daß indische Sklaven sich zur Belustigung ihres Kaisers aus ziemlicher Höhe mittelst Sonnenschirmen herabließen. Versuche bestätigten den Nutzen desselben. — Unter den unzähligen Luftfahrten, die nachher gemacht worden sind, erwähnen wir nur einige, die rein im Interesse der Wissenschaft unternommen wurden, eine am 24. Aug. 1804 von den berühmten französischen Physikern Biot und Gay-Lussac, eine zweite von Gay-Lussac allein am 16 Sept. dess. J., welcher dabei eine Höhe von 22500 F. erreichte, also fast 1600 F. höher stieg, als der Gipfel des Chimborazo beträgt, ferner eine neuere der Franzosen Bixio und Barral im J. 1850. Diese Reisen haben die Wissenschaft mit vielen neuen Beobachtungen bereichert. — Biot, geb. 1774 zu Paris, gest. 1862, wirkte bis zu seinem Tode thätig für die Wissenschaft, die seinen Untersuchungen viele neue Entdeckungen oder genauere Begründung früherer verdankt. Er hat sich um die Verbreitung der Wissenschaft auch besonders durch ein Lehrbuch der Experimentalphysik verdient gemacht, welches durch die Uebersetzung und die vortrefflichen Zusätze des Prof. Fechner in Leipzig an Werth gewonnen hat. Gay-Lussac, geb. 1778, gest. 1850 in Paris, ist besonders durch chemische Untersuchungen berühmt.

Drittes Kapitel.

§ 34. Das Verhalten verschiedener Luftarten zu einander.

Fig. 91.

Noch eine Eigenthümlichkeit der luftförmigen Körper, die mit der eben betrachteten Erscheinung im Widerspruch zu stehen scheint, muß erwähnt werden. Wir haben eben gesehen, daß der mit der leichteren Luftart gefüllte Ballon steigt, und dies beruht darauf, daß der Druck, den die schwerere Luft ausübt, größer ist, als der der leichteren Luft. Können sich jedoch die Luftarten vermengen, so geschieht dies ohne Rücksicht auf ihre specifische Schwere. Befindet sich daher (Fig. 91.) in einem Glase Kohlensäure, eine Gasart, die schwerer als die Luft ist, und darüber ein umgekehrtes Glas mit dem sehr leichten Wasserstoffgas, so mischen sich beide Luftarten nach einiger Zeit so, daß sowohl in dem oberen, als in dem unteren Glase Kohlensäure und Wasserstoffgas enthalten sind. Man kann daher sagen:

Verschiedene Luftarten verbreiten sich in einem Raume ganz so, als wenn jede allein da wäre; der Druck, den

sie vermöge ihrer Expansivkraft auf die sie umgebenden festen und flüssigen Körper ausüben, ist gleich der Summe des Druckes, den jede allein ausübt.

So drückt also die äußere Luft nicht auf die Gasart des Ballons, sondern auf die feste Hülle und erst mittelbar auf das Gas. — Nach diesem Gesetze erklärt es sich, daß fortwährend in der atmosphärischen Luft eine Menge Luftarten von sehr verschiedenem specifischen Gewichte neben einander bestehen, Stickstoff, Sauerstoff, Wasserdampf, Kohlensäure u. A., ohne sich über einander zu ordnen.

Gesch. Bem. zur 3. Abtheilung. Da viele der Erscheinungen, die ihren Grund, wie § 28—30. gezeigt worden ist, in dem Drucke der Luft haben, uns fortwährend im täglichen Leben begegnen, so ist es natürlich, daß dieselben schon von der frühesten Zeit an bekannt waren, ohne daß man jenen eigentlichen Grund gekannt hätte. Man hat auch nach der Analogie dieser Erscheinungen Maschinen verfertigt. So hat bekanntlich Hero aus Alexandria (um 210 v. Chr.) den Heronsball, der seinen Namen trägt, erfunden und überhaupt ein besonderes, noch erhaltenes Werk geschrieben, in welchem er seine Bekanntschaft mit Saugpumpe und Saugheber darthut und die Anwendung des letzteren zu allerhand physikalischen Spielereien angiebt. Als Erfindung des Ctesibius, desselben, der die Wasseruhren erfunden haben soll, beschreibt Vitruv einen Apparat, dessen Einrichtung völlig unserer Feuerspritze entspricht. Alle diese Erscheinungen erklärte man jedoch dadurch, daß man den Naturkörpern eine Scheu vor dem leeren Raume beilegte, den namentlich Wasser und Luft, wo er entstände, auszufüllen strebe. Diese Annahme galt noch zur Zeit des Galilei, als Gärtner in Florenz mittelst einer sehr wohl construirten Pumpe kein Wasser erhalten konnten, da sie nemlich dasselbe höher heben sollte, als es der Luftdruck gestattete. Galilei erkannte, daß jene Scheu vor dem leeren Raume eine Grenze habe. Erst Torricelli (geb. 1608, Schüler, Freund und Nachfolger des Galilei in Florenz, gest. 1647), indem er 1643 den in § 25. angeführten Versuch mit Quecksilber anstellte, kam darauf, den Grund aller jener Erscheinungen in dem Drucke der Luft zu suchen. Auch ist schon 1643 in Padua der mit der Höhe abnehmende Luftdruck an der Torricelli'schen Röhre bemerkt worden. Berühmter und einflußreicher wurde jedoch die Beobachtung, zu welcher Pascal (geb. 1623, gest. 1662, einer der berühmtesten Schriftsteller und ausgezeichnetsten Mathematiker Frankreichs) seinen Schwager 1648 veranlaßte, der auf dem Gipfel des Puy de Dome den Barometerstand um 3 Zoll niedriger fand, als am Fuße desselben. Es war sichtbar, daß der mit der Höhe abnehmende Luftdruck die Ursache der Erscheinung sei. — Hiermit ist der Grund zu den weiteren Untersuchungen gelegt worden. Sehr bald folgte eine zweite, höchst wichtige Erfindung, die der Luftpumpe. Otto von Guerike, einer der thätigsten Physiker des 17. Jahrhunderts (geb. 1602 in Magdeburg, studirte er zuerst Jura, später auch Mathematik, wurde 1627 Rathsherr, 1646 Bürgermeister in Magdeburg und starb 1686), erfand die Luftpumpe bei Versuchen mit der Torricellischen Leere (§ 31.) und experimentirte mit derselben 1654 auf dem Reichstage zu Regensburg vor dem Kaiser Ferdinand III. Namentlich entleerte er ein Paar Magdeburger Halbkugeln, welche einen Durchmesser von fast 1 Elle hatten und von 24 Pferden nicht aus einander gezogen werden konnten; ferner ließ er in einem Stiefel, aus dem er die Luft entfernte, einen Stempel durch die äußere Luft herabdrücken, den vier Männer vergebens am Sinken zu hindern suchten. — Boyle, der Nachricht hiervon erhalten hatte, construirte danach ebenfalls eine Luftpumpe, experimentirte sehr fleißig mit derselben und brachte bedeutende Verbesserungen

daran an; unter andern Versuchen benutzte er sie auch, das Gewicht der Luft zu finden. Bei diesen Versuchen kam er auch 1660 auf das Mariottesche Gesetz, welches die Grundlage für alle genauen Untersuchungen über die Luftarten bildet; zum Nachweise desselben stellte er seine Versuche auf die oben (§ 27 Anm.) beschriebene Weise an. Dieses Gesetz ist mit Unrecht das Mariottesche genannt worden, weil es einige Zeit nachher (1676) auch von Mariotte (gest. 1684) aufgestellt und zuerst durch die Franzosen weiter verbreitet worden ist. Robert Boyle, geb. 1626 zu Lismore in Irland, war überhaupt einer der ersten englichen Physiker, der durch genaue Versuche die Gesetze der Natur zu erforschen suchte; er war eines der ersten Mitglieder und zuletzt Präsident jener englischen Privatgesellschaft, die sich die Ergründung der Naturgesetze auf dem Wege der Beobachtungen und Versuche zur Aufgabe machte, und bald nachher von Karl II. den Titel der „königlichen Societät" erhielt, den sie noch jetzt führt und zum höchsten Ruhme gebracht hat. Nicht minder ausgezeichnet war Boyle durch seinen frommen Sinn und die Reinheit seines Charakters. Auch er wurde bei seinem Tode 1691 in der Westminsterabtei beigesetzt. — Die im letzten § erwähnte Erscheinung bei der Vermischung mehrerer Gase und das Gesetz für dieselbe ist von Dalton, einem berühmten englischen Chemiker, 1801 entdeckt worden.

Diejenigen Naturerscheinungen, die wir bis jetzt betrachtet, und deren Gesetze wir aufgestellt haben, betrafen nur räumliche Veränderungen der Körper, ohne daß sich die Natur derselben geändert hätte. Dergleichen Erscheinungen, bei denen die einzelnen Theile der Körper nur ihren Ort und ihre gegenseitige Lage vertauschen, nennt man mechanische, und ihre Betrachtung bildete den ersten Theil. Wir gehen zu andern Erscheinungen über, die durch Kräfte hervorgerufen werden, welche die Natur der Körper selbst verändern.

Zweiter Theil.

Chemische, magnetische und elektrische Erscheinungen.

Erster Abschnitt.

Chemische Erscheinungen.

Erste Abtheilung. Unorganische Chemie.

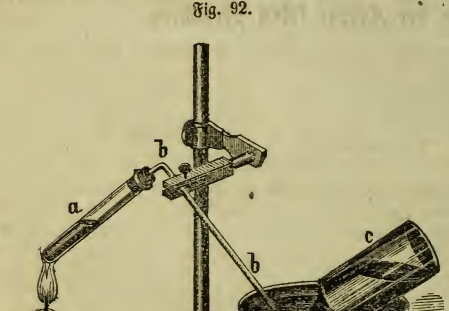
Erstes Kapitel.

Die wichtigsten Luftarten.

§ 35. Der Sauerstoff und der Stickstoff.

Wenn man in einer Retorte oder einem Probirgläschen a (Fig. 92.), aus welchem eine Röhre bb nach einem ganz mit Wasser gefüllten und unter Wasser umgekehrten Fläschchen c führt, rothes Queckſilberoxyd erhitzt, ſo entweicht eine Luftart, die in Bläschen in dem Fläschchen in die Höhe steigt und das Wasser aus demselben verdrängt; zugleich setzen sich Queckſilbertropfen an der Retorte oder dem Probirgläschen an. Jene Luftart, Sauerſtoff genannt, war vorher mit dem Queckſilber verbunden und bildete mit ihm das Queckſilberoxyd, einen Körper von ganz anderer Beſchaffenheit, nemlich ein rothes Pulver, während der eine seiner Beſtandtheile luftförmig, der andere flüſſig iſt. Dieſe Verbindung iſt eine Folge der chemiſchen Anziehung, durch welche ſich die Theile zweier Körper ſo verbinden, daß ein ganz neuer Körper entſteht, in welchem ſich die einzelnen Beſtandtheile nicht mehr neben einander unterſchei-

Fig. 92.



den lassen. — Ist alles Wasser aus dem Fläschchen vertrieben, so verstöpselt man es unter Wasser und ersetzt es durch ein anderes Gefäß, welches zunächst, wie das erste, ganz mit Wasser gefüllt ist. Hat man auf diese Weise mehrere Fläschchen mit Sauerstoff und bringt hierauf in eines derselben einen angezündeten Schwefelfaden, in ein zweites einen glühenden Holzspan oder eine glühende Kohle, in ein drittes ein Stück Phosphor, welches man durch einen glühenden Draht erhitzt, so verbrennen diese Körper mit der größten Lebhaftigkeit unter hellleuchtender Flamme. Hierbei verbindet sich nemlich der Sauerstoff mit dem Schwefel zu einer andern Luftart von stechendem Geruche, welche schweflige Säure heißt, derselben, welche man beim Anbrennen eines Schwefelholzes bemerkt; mit der Kohle des Holzes zu Kohlensäure, welches ebenfalls eine Luftart ist; mit dem Phosphor zu einem weißlichen Rauche, der Phosphorsäure heißt. Es findet also hierbei eine chemische Verbindung Statt; eine solche ist fast immer von Hitze begleitet, die sich oft, wie hier, zu einer Lichterscheinung steigert. Jede Verbrennung ist aber eine chemische Verbindung zweier Körper zu einem einzigen unter Lichterscheinung, und fast immer ist einer derselben Sauerstoff. Derselbe verbindet sich überhaupt mit den meisten einfachen Körpern; die Verbindungen mit Sauerstoff heißen Oxyde, und ein großer Theil derselben Säuren; man erkennt die letzteren daran, daß sie blaues Lakmuspapier roth färben. — Daß Körper in der Luft verbrennen, ist nur dadurch möglich, daß ein Hauptbestandtheil derselben Sauerstoff ist; verbrennt man einen Körper in einem verschlossenen Raume, z. B. ein wenig Watte mit Spiritus auf einem Bretchen, welches auf Wasser schwimmt, unter einem umgestürzten Glase, so verlöscht die Flamme sehr bald, nachdem nemlich der Sauerstoff der Luft verzehrt ist, und statt dessen tritt Wasser in das Glas. Der übrig bleibende Bestandtheil, $\frac{4}{5}$ der Luft, ist ebenfalls eine Luftart, Stickstoff genannt. Außerdem ist jederzeit noch eine sehr geringe Menge, etwa $\frac{1}{2000}$, Kohlensäure und eine ebenfalls sehr geringe und sehr veränderliche Menge luftförmiges Wasser, Wasserdampf, in der Luft enthalten, so daß also die atmosphärische Luft besteht aus $\frac{1}{5}$ Sauerstoff, $\frac{4}{5}$ Stickstoff, $\frac{1}{2000}$ Kohlensäure und etwas Wasserdampf, und zwar hat man gefunden, daß das erste Verhältniß an allen Orten der Erde, unter den Tropen und in den Polargegenden, in Stuben und im Freien, über dem Wasser und auf Bergen unverändert dasselbe ist. — Mit diesem Sauerstoffe der Luft verbinden sich auch sonst viele Körper; so entsteht der Eisenrost, das Anlaufen des Bleies und Zinkes, indem sich Theile der Oberfläche des Eisens, Bleies, Zinkes mit Sauerstoff verbinden oder oxydiren.

Man erhält viel mehr Sauerstoff, wenn man statt des Queckſilberoxydes chlorsaures Kali in einem Probirgläschen erhitzt. Dieses besteht aus Chlorsäure und Kali oder Kaliumoxyd, die Chlorsäure aber wieder aus Chlor und Sauerstoff, Kali aus Kalium und Sauerstoff. Durch Erhitzen wird der Sauerstoff herausgetrieben und es bleibt eine Verbindung von Chlor und Kalium, Clorkalium zurück.

Anm. Mit dem chlorsauren Kali muß man behutsam umgehen, weil es bei starkem Reiben, namentlich aber, wenn es mit Schwefelsäure in Verbindung kommt, explodirt; es bildet sich nemlich im letzten Falle schwefelsaures Kali, Chlor und Sauerstoff aber, zwei Luftarten, dehnen sich mit Heftigkeit aus. Dieser Vorgang ist es auch, welcher bei den früher besonders üblichen Schwefelhölzern Statt fand; in den Zündfläschchen ist nemlich Schwefelsäure auf Asbest oder Federweiß getröpfelt; kommt nun das chlorsaure Kali des Schwefelholzes mit der Schwefelsäure in Berührung, so bildet sich schwefelsaures Kali und hierbei entsteht eine solche Erhitzung, daß der Schwefel in Brand geräth, wobei er mit seiner schönen blauen Flamme und dem schon oben erwähnten scharfen Geruche der schwefligen Säure verbrennt und dadurch wieder das Holz entzündet.

§ 36. Der Wasserstoff.

Schüttet man Eisenfeilspäne in Wasser, so zeigt sich zunächst keine Einwirkung. Gießt man aber Schwefelsäure hinzu, so entsteht eine große Hitze und ein Brausen; es bilden sich Luftblasen. Durch eine der vorigen ähnliche Vorrichtung (Fig. 93.) wird die sich bildende Luftart aufgefangen; es ist Wasserstoff. Dies ist nemlich der eine Bestandtheil des Wassers, der andere ist Sauerstoff, und zwar geben 2 Maaß Wasserstoff und 1 Maaß Sauerstoff 2 Maaß Wasserdampf. Jene Zersetzung des Wassers ist aber in folgender Weise zugegangen. Die Schwefelsäure hatte das Bestreben, sich mit Eisenoxydul zu schwefelsaurem Eisenoxydul, welches gewöhnlich Eisenvitriol heißt, zu verbinden; und so hat das Eisen zunächst dem Wasser seinen Sauerstoff entzogen, ist dadurch selbst zu Eisenoxydul geworden und hat sich nun mit der Schwefelsäure zu Eisenvitriol verbunden, welches sich im Wasser auflöst und dasselbe grünlich färbt. Dadurch ist aber der Wasserstoff, der bisher im Wasser mit dem Sauerstoff verbunden war, frei geworden. Zündet man den in der Flasche gesammelten Wasserstoff an, so verbrennt er mit schwacher Flamme, aber sehr großer Hitze; er verbindet sich nemlich mit dem Sauerstoff der Luft wieder zu Wasser. Steckt man in den Kork der Flasche, in welcher sich der Wasserstoff bildet, eine feine Röhre, durch die das Gas herausströmt (Fig. 94.), und zündet es an, so verbrennt es mit kleiner Flamme; stürzt man dann ein Gläschen darüber, so wird man bald sehen, wie dasselbe von dem sich bildenden Wasser beschlägt. War Wasserstoff und Sauerstoff gemengt, so kann zunächst keine Verbindung beider eintreten; wird aber dieses Gemenge angezündet, so vereinigen sich beide in einem Augenblicke zu Wasserdampf, welcher zuerst wegen der außerordentlich hohen Temperatur einen sehr großen Raum einnimmt, durch die umgebende kalte Luft aber sogleich in ein wenig Wasser verwandelt wird, welches gar nicht sichtbar ist. Hierbei

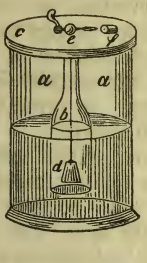
Fig. 93.

Fig. 94.

stürzt nun die äußere Luft mit solcher Gewalt in den dadurch gebildeten leeren Raum, daß eine heftige Explosion, Zertrümmerung des Glases ꝛc. erfolgt. Daher muß man äußerst vorsichtig sein, daß sich der gebildete Wasserstoff nicht, ehe man ihn angezündet, mit atmosphärischer Luft oder Sauerstoff gemengt habe. Jenes Gemenge von 2 Maaß Wasserstoff und 1 Maaß Sauerstoff heißt Knallgas. — Indem bei der chemischen Verbindung beider Körper, wie schon erwähnt, eine außerordentliche Hitze entsteht, nächst der durch den galvanischen Strom erzeugten (§ 66.) die größte, die man bis jetzt hervorzubringen vermag, so glühen Körper, namentlich Kreide oder Kalk, in diese Flamme gehalten, auf das lebhafteste; das Licht, welches z. B. in dem Hydro-Oxygen-Mikroskop (§ 87.) angewendet wird (Hydrogen = Wasserstoff, Oxygen = Sauerstoff), ist eines der stärksten, welches man zu erzeugen vermag; Platina schmilzt in dieser Flamme. — Wird der Wasserstoff in eine feine Blase aus Goldschlägerhaut oder Collodion geleitet, so steigt dieselbe sogleich in die Höhe; denn das Wasserstoffgas, $\frac{1}{14}$ mal so schwer, als atmosphärische Luft, ist der leichteste aller bekannten Körper.

Auf ähnliche Weise, wie oben angegeben, wird der Wasserstoff in den Platinazündmaschinen (Fig. 95.) erzeugt. Eine solche besteht 1) aus einem großen Cylinder a mit sehr verdünnter Schwefelsäure, 2) aus einem kleineren Cylinder b, der unten offen, oben in den Deckel c des ersten Cylinders luftdicht eingekittet ist, und in jenen Cylinder hineintaucht; in der Mitte dieses zweiten Cylinders hängt vom Deckel herab ein Zinkkolben d; im übrigen Raum ist Wasserstoff; 3) aus einem Hahne e, durch welchen der Wasserstoff aus dem kleinen Cylinder auf Platinaschwamm f (fein vertheiltes, sehr poröses Platina) geleitet wird. Dieser hat nun (§ 32.) die Eigenschaft, die Gasarten in außerordentlichem Maaße zu absorbiren, und nähert daher beide einander so, daß sie sich chemisch verbinden; hierdurch wird das Platina glühend und entzündet nun seinerseits das Wasserstoffgas, welches verbrennt, so daß man an der Flamme Papier anzünden kann. — Indem aber der Wasserstoff aus b entweicht, drückt die äußere Luft die Schwefelsäure in den unten offenen Cylinder, so daß die letztere den Zinkkolben berührt; nun veranlaßt die Schwefelsäure das Zink, dem Wasser der verdünnten Schwefelsäure seinen Sauerstoff zu entziehen; es wird Wasserstoff frei, welcher die Schwefelsäure wieder zurückdrängt, bis der Zinkkolben freihängt und die Gasentwickelung aufhört, die sich bis dahin durch kleine Luftbläschen an dem Zinkkolben sichtbar gemacht hat. Das Zink hat sich aber mit dem Sauerstoff zu Zinkoxyd verbunden, und dieses mit der Schwefelsäure schwefelsaures Zinkoxyd oder Zinkvitriol gebildet, welches sich im Wasser auflöst.

Fig. 95.



Anm. Diese Wirkung des Platina, das Wasserstoffgas zu entzünden, wurde von Döbereiner (Prof. in Jena) 1823 entdeckt und auf das Feuer-

zeug angewendet, in welchem der Wasserstoff bisher auf andere Art (durch den elektrischen Funken eines kleinen Elektrophors) angezündet worden war.

§ 37. Die Kohlensäure.

Kreide, ebenso Marmor, Kalkspath, sind nach ihren chemischen Bestandtheilen kohlensaurer Kalk; Kalk selbst ist eine Verbindung mit Sauerstoff, Calciumoxyd. Gießt man auf Kreide verdünnte Schwefelsäure, so entsteht ein sehr heftiges Aufbrausen unter Bildung großer Luftblasen; es verbindet sich nemlich die Schwefelsäure mit dem Kalk der Kreide und die Kohlensäure entweicht; man fängt dieselbe in der früher beschriebenen Weise (Fig. 93.) auf. Der in dem Glase sich bildende Körper ist schwefelsaurer Kalk oder Gyps. Die Kohlensäure ist wieder eine farblose, durchsichtige Luftart, wie Wasserstoff und Sauerstoff; sie ist aber selbst eine Verbindung von Sauerstoff und Kohlenstoff, die wir schon früher bei der Verbrennung der Kohle im Sauerstoffgase kennen gelernt haben. Hält man einen brennenden Holzspan in ein Gefäß mit Kohlensäure, so geht derselbe sogleich aus; die Kohlensäure hindert also das Brennen, ebenso das Athmen, und insofern ist sie für die Lungen giftig, nicht aber für den Magen; dagegen athmen wir Kohlensäure aus. Da sich nun Kohlensäure bei der Verwesung und Gährung zu bilden pflegt, so ist das Betreten von Weinkellern und Grüften nur mit großer Vorsicht vorzunehmen, und müssen dieselben vorher gelüftet werden; indem man mit einem brennenden, nach der Tiefe gehaltenen Lichte hineingeht, kann man durch das Ausgehen der Flamme die Gegenwart der Kohlensäure entdecken. Dreht man ein Gefäß mit Kohlensäure um, indem man einen brennenden Holzspan vor die Oeffnung hält, so geht derselbe aus, zum Zeichen, daß die Kohlensäure sich senkt, also schwerer ist. Ihr specifisches Gewicht ist $1\frac{1}{2}$. Daher hält sie sich auch zunächst in der Tiefe; ist aber der freien Luft der Zutritt gestattet, so vermischt sie sich, wie wir oben (§ 34.) gesehen, vollständig mit derselben. — Hat man ein Gläschen nur zur Hälfte mit Kohlensäure gefüllt, während der andere Theil frisches Wasser enthält, und man schüttelt das Gläschen, indem man den Finger auf die Oeffnung hält, so sieht man, daß der Finger von der äußeren Luft hineingedrückt wird; das Wasser hat nemlich einen Theil der Kohlensäure in sich aufgenommen oder absorbirt. Gießt man dieses kohlensaure Wasser in ein Gläschen mit Kalkwasser, d. h. Wasser, in welchem etwas gelöschter Kalk, wie Salz, aufgelöst ist, so trübt sich das Wasser, welches vorher ganz klar war, sogleich und nach einiger Zeit fällt ein weißes Pulver zu Boden. Die Kohlensäure hat sich nemlich mit dem Kalk zu kohlensaurem Kalk verbunden; dieser ist aber im Wasser nicht auflöslich, sondern fällt, wie Sand, zu Boden. Ebenso kann man zeigen, daß wir, wie oben erwähnt, Kohlensäure ausathmen; wenn man nemlich durch eine Röhre in Kalkwasser bläst, so entsteht eine ähnliche Trübung, wie vorher.

Noch einige Worte müssen wir über den Kohlenstoff hinzufügen; dies ist ein fester Körper, am bekanntesten als Holzkohle, als Coaks, Ruß, als Thierkohle; aber auch der Diamant ist Kohlenstoff, ebenso der Graphit, aus welchem die guten englischen Bleistifte beste-

hen; denn beide bilden bei der Verbrennung Kohlensäure. Obgleich sich nun der Kohlenstoff gern mit dem Sauerstoff verbindet, so geschieht dies doch nicht bei der Temperatur der Luft, und daher ist er keiner Veränderung durch Luft und Wasser ausgesetzt, wie die meisten Körper, die darin verfaulen oder verwesen. Will man daher Pfähle, die in den feuchten Erdboden eingerammt werden, auf eine leichte Weise vor der Fäulniß schützen, so pflegt man dieselben anzukohlen. — Wie die Kohle in großen Massen Gas absorbirt, so entzieht sie auch manchen Flüssigkeiten Farbestoffe, faulende Substanzen u. A., daher benutzt man sie als Zahnpulver, ferner zum Reinigen und Entfärben der braunen Zuckerlösung, des Branntweins, des schmutzigen oder fauligen Wassers u. A.

§ 38. Das Chlor.

Gießt man Salzsäure auf Braunstein und erhitzt dies langsam, so entweicht eine sehr schädliche, giftige Luftart, mit der man daher sehr vorsichtig sein muß, das Chlor; sie zeigt sich zuerst dadurch, daß sie das Gefäß, in welchem sie auf die bekannte Weise aufgefangen wird, grünlich färbt; gewöhnlich kündigt sie sich auch schon durch einen zusammenziehenden Geruch an. Läßt man ein Gefäß sich nur zur Hälfte mit Chlor anfüllen, und schüttelt das Wasser mit dem Chlor, so färbt sich dasselbe ebenfalls grün und hat einen zusammenziehenden Geruch und Geschmack, es heißt Chlorwasser. — Die Entstehung des Chlors ist aber so geschehen. Salzsäure ist eine Verbindung von Chlor und Wasserstoff; Braunstein eine Verbindung eines Metalles Mangan mit Sauerstoff, Mangansuperoxyd; beim Zusammengießen verbinden sich nun der Sauerstoff und Wasserstoff zu Wasser, und andererseits Mangan und Chlor; beim Erhitzen giebt aber diese Verbindung die Hälfte ihres Chlors ab, welche dann entweicht. — Dreht man ein Gefäß mit Chlorgas um, so fließt dasselbe heraus; dies zeigt sich daran, daß die grüne Farbe immer tiefer sinkt und endlich das Gefäß wieder ganz farblos erscheint. Das Chlorgas ist nemlich viel schwerer, 2½ mal so schwer, als atmosphärische Luft. Hält man gefärbte Lappen in das Chlorwasser oder gießt es zu Dinte, so verlieren dieselben nach kurzer Zeit alle Farben und werden gebleicht. Das Chlor hat eine außerordentliche Begierde, sich mit dem Wasserstoff zu verbinden; da derselbe in den meisten organischen Naturprodukten enthalten ist, so entzieht ihn das Chlor den Körpern und zerstört sie dadurch; dies geschieht nun zuerst mit den Farbestoffen, dann aber auch mit dem Zeuge selbst. Man benutzt es daher zum Bleichen, muß aber dabei vorsichtig sein, weil es sonst sehr leicht das Zeug selbst zerfrißt. Aus demselben Grunde zerstört es Krankheitsstoffe, die sich etwa in der Luft befinden; daher räuchert man mit Chlorkalk in Krankenzimmern, wenn man Ansteckung befürchtet. Ebendarum ist es aber auch für die Lungen verderblich. — Hält man in Chlorgas ein Blättchen gewöhnliches Blattgold, welches besonders Kupfer enthält, so verbrennt dieses mit Lebhaftigkeit, und es entsteht Chlorkupfer; ebenso glüht gepulvertes Antimon in Chlorgas geschüttet, und es bildet sich ein weißer Rauch Chlorantimon. Bringt man da-

gegen etwas ächtes Blattgold in Chlorwasser, so verschwindet es in demselben, indem das sich bildende Chlorgold im Wasser aufgelöst wird. — Ganz besonders wichtig ist das Chlor noch deswegen, weil es der eine Hauptbestandtheil des Kochsalzes ist, der andere heißt Natrium, ein seltenes, nur künstlich dargestelltes Metall; so ist also Kochsalz Chlornatrium.

Gesch. Bem. Bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts hatte man die Unterschiede der Luftarten von der atmosphärischen Luft nicht bemerkt. Erst damals entdeckte man verschiedene Gasarten und erkannte, daß sie wesentliche Bestandtheile der Körper wären. Zuerst wurde die Kohlensäure, fixe Luft genannt, 1752 von dem 24 Jahr alten Black (später Prof. in Glasgow und Edinburgh) entdeckt; ihre Bestandtheile, Kohle und Sauerstoff, wurden aber erst 1775 von Lavoisier erkannt. Später 1766 fand Cavendish (geb. 1731 zu Nizza, gest. 1810) den Wasserstoff, brennbare Luft genannt, und bemerkte die Leichtigkeit desselben; erst 1783 entdeckte er, daß bei seiner Verbrennung Wasser entstehe, woraus James Watt (Gesch. Bem. zu § 104.) auf die Bestandtheile des Wassers schloß; umgekehrt zersetzte 1784 Lavoisier das Wasser, indem er die Dämpfe kochenden Wassers durch einen glühenden Flintenlauf leitete, der dem Wasser den Sauerstoff entzog, so daß der Wasserstoff entwich. — Den Sauerstoff und Stickstoff entdeckten fast zu gleicher Zeit Priestley und Scheele (G. B. § 52.). Am 1. August 1774 entwickelte der Erstere mittelst eines Brennglases den Sauerstoff aus glühendem Queckſilberoxyd, und fand, daß die Körper viel lebhafter in demselben verbrannten, als in der gewöhnlichen Luft. Bald nachher erkannte er, daß derselbe Sauerstoff auch ein Bestandtheil der atmosphärischen Luft sei. Dasselbe hatte vielleicht noch früher Scheele bemerkt. Der Letztere bereitete auch 1774 zuerst das Chlorgas, während die Benutzung des Chlorwassers zum Bleichen bereits von Berthollet, zur Zerstörung von Krankheitsstoffen 1769 von Guyton de Morveau, zwei französischen Chemikern, entdeckt war. — Das richtige Verhältniß der beiden Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft ist zuerst von Volta (G. B. zu § 64.) 1780 bemerkt und nachher von sehr vielen Gelehrten auf das sorgfältigste untersucht worden.

Zweites Kapitel.

Die wichtigsten Gesetze der Chemie.

§ 39. Gesetze der chemischen Verbindungen.

Nachdem wir im Vorhergehenden mehrere chemische Vorgänge betrachtet haben, wird es möglich sein, einige der wichtigsten Gesetze für dieselben aufzustellen. Man unterscheidet in der Chemie zusammengesetzte und einfache Körper; ein zusammengesetzter Körper wird ein solcher genannt, der sich in Stoffe zerlegen läßt, die andere chemische Eigenschaften zeigen, als der Körper selbst. Ein Körper, der sich nicht mehr in solche Stoffe zerlegen läßt, heißt ein einfacher Körper, ein Element. So ist das Queckſilberoxyd ein zusammengesetzter Körper; seine Bestandtheile dagegen, Queckſilber und Sauerstoff, ganz verschieden unter sich und von jenem, sind einfache Körper. Aber auch durch die stärksten Vergrößerungsgläser sind diese Bestandtheile nicht in dem Queckſilberoxyd neben einander zu erkennen; sie bilden im Gegentheil einen

ganz neuen Körper, dessen einzelne Theile wieder durchaus gleichartig sind. Insofern müssen wir die Bestandtheile eines Körpers von seinen Theilen unterscheiden; während jeder Körper sich zertheilen läßt in Theile von derselben chemischen Beschaffenheit, wie er selbst, läßt sich nur ein zusammengesetzter Körper in Bestandtheile zerlegen oder zersetzen, in Stoffe, die unter sich und von dem zusammengesetzten Körper selbst verschieden sind. — An dem Kohlenstoffe (§ 37.), welcher sich als Diamant, Graphit, Holzkohle ꝛc. zeigt, sehen wir zugleich, daß auch ein und derselbe einfache Körper in sehr verschiedenen Formen vorkommen kann.

Als Hauptgesetz, welches nur sehr wenige Ausnahmen (§ 42. 5.) zuläßt, darf nun für die chemischen Verbindungen aufgestellt werden, daß sich einfache Körper mit einfachen, zusammengesetzte mit zusammengesetzten verbinden. In den Verbindungen zweier einfachen Stoffe ist der eine Bestandtheil gewöhnlich Sauerstoff, der andere heißt das Radikal. Wir haben bereits erwähnt, daß diese Verbindungen im weiteren Sinne Oxyde heißen. Man unterscheidet unter diesen besonders zwei Klassen, Säuren und Basen. Von Säuren haben wir bereits Kohlensäure, schweflige Säure als Luftarten, Schwefelsäure als Flüssigkeit, Phosphorsäure als weißen Rauch kennen gelernt. Man erkennt sie daran, daß sie blaues Lakmuspapier roth färben. Eine andere Klasse begreift die Basen; zu ihnen gehören unter den bereits erwähnten Körpern: Quecksilberoxyd, Eisenoxydul, Zinkoxyd, Kalk, Kali. Die wichtigsten derselben, die Alkalien, z. B. Kali, haben einen laugenartigen Geschmack und färben das geröthete Lakmuspapier wieder blau. Ueberhaupt aber sind Basen solche Verbindungen, die mit den Säuren selbst wieder neue Verbindungen eingehen. Viele der letzteren sind bereits früher erwähnt. So hatten wir gesprochen von schwefelsaurem Eisenoxydul, schwefelsaurem Zinkoxyd, chlorsaurem Kali, kohlensaurem Kalk, schwefelsaurem Kalk; diese neuen Verbindungen nennt man Salze, in denen also stets eine Säure mit einer Basis verbunden ist. Dies ist nun ein neues Gesetz:

die Säuren verbinden sich mit Basen zu Salzen, welche im allgemeinen weder die Eigenschaften der Säuren, noch die der Basen zeigen, und daher neutral genannt werden*).

Diese Eigenschaften können wir an folgendem Beispiele beobachten. Salpetersäure besteht aus Stickstoff und Sauerstoff, wenige Tropfen in ein Fläschchen mit Wasser gethan bewirken, daß das Wasser blaues Lakmuspapier roth färbt und sauer schmeckt. Kali dagegen ist eine Basis; löst man dieselbe in Wasser auf, so schmeckt dasselbe laugenhaft, rothes Lakmuspapier wird darin wieder blau. Tröpfelt man nun in diese Kalilösung vorsichtig Salpetersäure, so tritt ein Zeitpunkt ein, wo weder das blaue noch das rothe Papier geändert wird, und zugleich ist an die Stelle des laugenartigen Geschmackes ein salziger

*) Genau genommen gilt dies nur von den Säuren und Basen, deren einer Bestandtheil Sauerstoff ist.

getreten; es hat sich salpetersaures Kali gebildet, welches zurückbleibt, wenn man durch Erhitzen der Flüssigkeit das Wasser vertreibt. Gewöhnlich wird dieses Salz Salpeter genannt.

Es giebt neben den Säuren und Basen noch eine dritte Klasse von Verbindungen des Sauerstoffes mit einem einfachen Körper; diese haben, wie die Salze, weder die sauren noch die basischen Eigenschaften und zeigen keine Begierde nach weiterer Verbindung; sie heißen daher indifferent. Die bekannteste ist das Wasser. Am häufigsten kommen sie in der organischen Natur vor.

Anm. Bis jetzt haben wir blos die Verbindungen des Sauerstoffs erwähnt, und deren Zahl ist bei weitem am größten. In der Salzsäure oder Chlorwasserstoffsäure ist aber auch ein Beispiel angeführt, wo der Wasserstoff die Stelle des Sauerstoffes vertritt und eine Säure bildet, die sich ähnlich*), wie die vorher erwähnten Säuren des Sauerstoffes, verhält; es giebt auch Basen, in denen kein Sauerstoff enthalten ist, und endlich Salze, die aus Säuren und Basen bestehen, deren keine Sauerstoff enthält. Häufiger sind Körper, die, obwohl nur aus zwei einfachen Körpern zusammengesetzt, deren keiner Sauerstoff ist, sich wie Salze verhalten, z. B. das Kochsalz, Chlorgold, Chlorkupfer. Bei der Bildung des Chlorkupfers und Chlorantimons haben wir auch ein Beispiel einer Verbrennung kennen gelernt, bei welcher kein Sauerstoff zugegen war.

§ 40. Gesetze der chemischen Zersetzung.

Um zusammengesetzte Körper zu zersetzen, genügt oft die Wärme, wie sich bei der Bildung des Sauerstoffes zeigte; bisweilen ist schon das Licht hinreichend, eine Zersetzung hervorzubringen (§ 87.); am häufigsten aber wirkt die chemische Verwandtschaft selbst. Wir haben z. B. (§ 37.) gesehen, daß die Kohlensäure frei wurde, indem sich die Schwefelsäure mit dem Kalk zu verbinden strebte; gewisse Körper haben nemlich zu andern eine besonders starke Verwandtschaft, so daß sie, um sich mit einem solchen zu vereinigen, ihn aus seiner bisherigen Verbindung herausreißen. (Einfache Wahlverwandtschaft). Bei der Bildung des Wasserstoffes (§ 36.) veranlaßte die Schwefelsäure, welche sich mit einer Basis zu verbinden strebte, das Eisen, dem Wasser seinen Sauerstoff zu entziehen. So bestimmen bisweilen kräftige Säuren oder Basen einen Körper, erst eine andere Verbindung einzugehen, um sich selbst dann mit dieser neuen Verbindung zu vereinigen. (Prädisponirende Wahlverwandtschaft). Bei der Bildung des Chlors (§ 38.) sahen wir, wie die Bestandtheile der Salzsäure, Chlor und Wasserstoff, sich wechselseitig mit den Bestandtheilen des Braunsteins, Mangan und Sauerstoff, zu zwei neuen Körpern, dem Mangansuperchlorür und Wasser verbanden. Es tauschen nemlich bisweilen zwei Verbindungen ihre Bestandtheile so aus, daß zwei neue Verbindungen entstehen. (Doppelte Wahlverwandtschaft). Wenn man z. B. Bittersalz, welches schwefelsaure Magnesia ist, in Wasser gelöst mit einer Soda-

*) Nicht ganz so, wie man bei der weiteren Erwähnung der Salzsäure in § 42. sehen wird.

lösung mischt (Soda ist kohlensaures Natron), so entsteht kohlensaure Magnesia und schwefelsaures Natron, welches gewöhnlich Glaubersalz heißt. Wie übrigens in diesem Beispiele die chemische Wirkung nur Statt findet, wenn man die Körper aufgelöst hat, sie also in flüssigem Zustande zusammenbringt, so gilt überhaupt als Gesetz, daß die chemische Einwirkung nur Statt findet, wenn wenigstens einer der beiden Körper flüssig oder luftförmig ist. — Die stärkste Kraft, chemische Verbindungen zu trennen, besitzt die Elektricität, worüber später (§ 66.) das Genauere angegeben werden wird.

Drittes Kapitel.

Die wichtigsten chemischen Verbindungen.

§ 41. Das Wasser.

Nachdem wir so die wichtigsten chemischen Gesetze aufgestellt haben, wollen wir einige im täglichen Leben häufig vorkommende Verbindungen aufführen. Unter ihnen steht das Wasser obenan, über dessen chemische Eigenschaften wir daher einige Bemerkungen machen müssen. Bringt man Salz oder Zucker in Wasser, so verschwinden sie bald; man erkennt ihre Anwesenheit durch den Geschmack, aber sichtbar sind sie nicht, auch nicht durch die stärksten Vergrößerungsgläser, und ein Tropfen schmeckt so salzig oder süß, als der andere. Das Wasser besitzt nemlich, weil es als Flüssigkeit so nahe an die Körper herankommen kann, und Adhäsion zu ihnen hat (§ 22.), die Kraft, den Zusammenhang vieler festen Körper zu zerstören, und zwar so, daß die festen Körper mit dem Wasser eine vollkommen gleichartige Flüssigkeit bilden. Man sagt dann, das Wasser habe diese Körper aufgelöst. Ebenso absorbirt es Luftarten. Diese Eigenschaften besitzen übrigens auch andere Flüssigkeiten, als Weingeist, Quecksilber u. a. Die Menge, welche eine Flüssigkeit von einem andern Körper aufzulösen vermag, ist sehr verschieden, gewöhnlich aber um so größer, je höher die Temperatur der Flüssigkeit ist. Viele Körper werden von einer gewissen Flüssigkeit gar nicht aufgelöst, wie man am Sande sieht, der in Wasser geschüttet zu Boden sinkt und immer deutlich vom Wasser zu unterscheiden bleibt. In Folge jener Eigenschaften ist aber das gewöhnliche Wasser selten rein, enthält vielmehr eine Menge anderer Bestandtheile. Oben ist bereits erwähnt, daß Wasser Kohlensäure zu absorbiren vermag (Selterser Wasser, § 32. und § 37.); in der Kohlensäure sind aber wieder andere Verbindungen löslich, und so ist das Wasser, welches beim Durchsickern durch die Erde in der Berührung mit verwesenden Stoffen Kohlensäure absorbirt, im Stande, sehr viele Stoffe, durch die es strömt, aufzulösen, die reines Wasser nicht würde auflösen können. So entstehen die Mineralbrunnen. Auf dieselbe Weise absorbirt das Wasser häufig Schwefelwasserstoff (§ 42, 4.) und bildet dann Schwefelquellen. Quellwasser enthält aus gleichem Grunde fast immer kohlensauren Kalk und heißt dann hartes

Wasser, während das fließende Wasser seine Kohlensäure an die Luft abgiebt und, indem es so seine auflösende Kraft verliert, den Kalk absetzt; dies heißt dann, ebenso wie das Regenwasser, weiches Wasser. Will man dagegen reines Wasser haben, so muß man Wasser in einem Gefäße zum Kochen bringen und die Wasserdämpfe durch eine Röhre in ein zweites kühl erhaltenes Gefäß leiten, wo dieselben wieder zu tropfbar flüssigem Wasser werden; hierbei bleiben nemlich die fremden Bestandtheile in dem ersten Gefäße zurück, und man erhält in dem zweiten nur reines Wasser. Das hierbei angewendete Verfahren heißt Destillation, und das dadurch gewonnene Wasser destillirtes Wasser.

Anm. Das Wasser, obgleich weder Säure noch Basis, vertritt bei vielen starken Säuren die Stelle einer Basis; diese halten nemlich in Ermangelung einer anderen Basis eine bestimmte Menge Wasser so fest, daß es sich nicht vertreiben läßt; andrerseits vertritt es auch bei starken Basen die Stelle einer Säure und kann von manchen derselben gar nicht oder nur auf kurze Zeit getrennt werden. Endlich verbindet es sich noch fest mit mehreren Salzen, z. B. dem Glaubersalz, der Soda, die in Folge davon Krystalle bilden, aber zu Pulver zerfallen oder verwittern, wenn sie dieses Wasser verlieren. Diese chemischen Verbindungen des Wassers heißen Hydrate, z. B. Kalkhydrat, Schwefelsäurehydrat, Kalihydrat.

§ 42. Die Säuren.

Die stärkste chemische Wirkung üben einige flüssige Säuren aus, theils wegen ihrer starken Verwandtschaft zu den meisten Körpern, theils weil sie als Flüssigkeiten diese chemische Anziehung sogleich zur Geltung zu bringen vermögen. Kommen sie mit organischen Körpern in Berührung, so zerstören sie dieselben alsbald, indem sie sich mit einzelnen Bestandtheilen derselben verbinden; am leichtesten hindert man ihre Wirkung oder vertreibt Flecke, die durch Säuren entstehen, wenn man ihnen sogleich eine Basis darbietet; dazu eignet sich aber am meisten der Salmiakgeist. Dann bildet sich aus der Vereinigung beider ein Salz, welches sich im Wasser auflöst. Ebenso begierig verbinden sich die Säuren mit Metalloxyden zu Salzen, die oft im Wasser löslich sind; daher braucht man sie zum Scheuern von Metallgefäßen, die dadurch ihren Glanz verloren haben, daß sie sich mit einer Schicht von Oxyd überzogen haben.

1. Schwefelsäure, eine der stärksten Säuren, hat namentlich eine außerordentliche Begierde, sich mit dem Wasser zu verbinden; wo sie daher organische Körper trifft, die vorzüglich aus Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff bestehen, veranlaßt sie die beiden ersten Stoffe, sich zu Wasser zu verbinden, der Kohlenstoff bleibt zurück, und so kommt es, daß Holz, Kork ꝛc., auf welche Schwefelsäure kommt, sich schwarz färben, daß auch Schwefelsäure selbst, nicht ordentlich verwahrt, immer dunkler und, indem sie Feuchtigkeit aus der Luft an sich zieht, wasserhaltiger und schwächer wird. Die bekanntesten Verbindungen von Metalloxyden mit Schwefelsäure heißen Vitriole; so hat man grünes Eisenvitriol, blaues Kupfervitriol, weißes Zinkvitriol.

Anm. Die gewöhnliche oder englische Schwefelsäure enthält jederzeit noch etwas Wasser, welches nicht von ihr getrennt werden kann; doch giebt es auch wasserfreie Schwefelsäure, welches ein fester Körper ist; und eine Auflösung der letzteren in der ersteren, die rauchende Schwefelsäure oder Vitriolöl, weil sie aus dem Eisenvitriol bereitet wird; doch nennt man auch die gewöhnliche Schwefelsäure oft Vitriolöl. Die Bereitung des eigentlichen Vitriolöls war übrigens schon am Ende des 15. Jahrhunderts bekannt.

2. Salpetersäure besteht aus Stickstoff und einer reichlichen Menge Sauerstoff. Sie enthält aber jederzeit noch etwas Wasser, ohne welches sie nicht bestehen kann, und zieht außerdem noch fortwährend Wasser aus der Luft an. Fällt sie auf Metalle, ausgenommen Gold und Platina, so giebt ein Theil der Salpetersäure einen Theil seines Sauerstoffes ab, und bildet daraus ein Metalloxyd, welches sich mit der übrigen Salpetersäure zu einem im Wasser löslichen Salze verbindet; derjenige Theil der Salpetersäure, welcher etwas Sauerstoff abgegeben hat, giebt sich in gelbrothen Dämpfen kund, welche ein Zeichen der entstandenen salpetrigen Säure sind. Dasselbe geschieht, wenn Salpetersäure auf organische Körper, Holz, Tuch, die Haut u. A. trifft, und daher entsteht die gelbe Farbe, die solche Körper dann erhalten. — Weil die Salpetersäure, wie eben erwähnt, die andern Metalle außer dem Golde auflöst, so dient sie dazu, das Gold von den übrigen zu scheiden, und daher heißt die gewöhnliche, unreine, verdünnte Salpetersäure Scheidewasser. Salpetersäure heißt sie, weil sie aus dem Salpeter (salpetersaures Kali) bereitet wird. — Aus dem Vorigen ist schon ersichtlich, daß sie leicht einen Theil ihres Sauerstoffes abgiebt, daher beschlagen alle metallenen Geräthe in ihrer Nähe, wenn sie nicht sehr wohl verwahrt ist. Diese leichte Zersetzbarkeit findet auch bei dem Salpeter Statt, und daher rührt die Anwendung desselben zum Schießpulver. Dasselbe ist nämlich ein Gemisch von Salpeter, Kohle und Schwefel. Bei der Erhitzung giebt der Salpeter seinen Sauerstoff an die Kohle ab, so daß Kohlensäure entsteht, zugleich wird der Stickstoff frei und es bleibt Schwefelkalium zurück; jene beiden Luftarten, die sich plötzlich auf einen tausend mal größeren Raum auszudehnen streben, verursachen die bekannte Wirkung des Schießpulvers. Aehnlich explodirend wirken viele andere sauerstoffreiche Verbindungen, z. B. chlorsaures Kali, Schießbaumwolle u. A.

Gesch. Bem. Das Schießpulver, sowohl nach seiner Zusammensetzung, als nach seiner Wirkung, erwähnen zuerst Roger Baco und Albert von Bollstädt, gewöhnlich Albertus Magnus genannt, einer der berühmtesten Alchemisten, beide im 13. Jahrhundert. Aber im Kriege ist erst im 14. Jahrhundert davon Gebrauch gemacht worden, und Berthold Schwarz (eigentlich Anklitz, aber wegen seiner Versuche der schwarze Bartel genannt) hat vielleicht durch Mittheilung der Eigenschaft des Pulvers diese Anwendung desselben veranlaßt. Mit einer dem Schießpulver ähnlichen Mischung wurden schon im 12. Jahrhunderte Steine im Harz gesprengt.

3. Salzsäure oder Chlorwasserstoffsäure aus Chlor und Wasserstoff. Sie ist eigentlich eine Luftart von stechendem Geruche, die aber von dem Wasser in außerordentlicher Menge absorbirt wird; daher ist die gewöhnliche Salzsäure eine Auflösung des Chlorwasser-

stoffgases in Wasser. Ihren Namen hat sie, weil sie aus dem Kochsalz bereitet wird. Auch in ihr lösen sich die meisten Metalloxyde auf, aber so, daß sich der Sauerstoff des Oxydes mit dem Wasserstoff der Säure zu Wasser, und Chlor mit dem Metalle zu einer im Wasser löslichen Verbindung vereinigt. Gießt man Salzsäure und Salpetersäure zusammen, so ist man im Stande, in dieser Flüssigkeit selbst Gold und Platina aufzulösen; daher nennt man diese Mischung Königswasser.

Anm. Es bildet nemlich der Wasserstoff der Salzsäure mit dem übermäßigen Sauerstoff der Salpetersäure Wasser, Chlor wird frei, und dieses bildet mit dem Golde eine im Wasser lösliche Verbindung.

Gesch. Bem. Die Auflösung der Salzsäure war schon Geber (Gesch. Bem. zu § 52.) bekannt; aber rein, als Luftart, ist sie erst von Prieſtley entdeckt worden.

4. Schwefelwasserstoffsäure. Gießt man verdünnte Schwefelsäure auf Schwefeleisen, so findet unter dem Einfluß der Schwefelsäure eine doppelte Wahlverwandtschaft zwischen dem Schwefeleisen und dem Wasser Statt; es bildet sich Eisenoxydul, welches sich mit der Säure zu Eisenvitriol vereinigt, und eine sehr übelriechende, giftige Luftart, Schwefelwasserstoff, die vom Wasser aufgelöst wird, aber an der Luft stehend sich bald zersetzt. Da der Schwefel eine sehr große Neigung hat, sich mit den Metallen zu verbinden, so bildet sich, sobald ein Metall in Berührung mit dem Schwefelwasserstoff kommt, sogleich ein Schwefelmetall; daher kommt es, daß z. B. Silber- und Kupfergeräthe an Orten, wo Schwefelwasserstoff entsteht, einen schwarzen Ueberzug bekommen.

5. Noch sei die Blausäure erwähnt, eine farblose Flüssigkeit, das stärkste Gift, von scharfem Geruche, ein Bestandtheil der Obstkerne, besonders der bitteren Mandeln. Sie besteht aus Wasserstoff und Cyan, einer Luftart (1815 von Gay Lussac entdeckt), welche, obgleich selbst aus Stickstoff und Kohlenstoff zusammengesetzt, sich dennoch ganz wie ein einfacher Stoff verhält und daher eine Ausnahme von der obigen Regel (§ 39.) bildet, indem sie sich mit einfachen Stoffen verbindet; so giebt Cyan z. B. mit Eisen das Berliner Blau, wovon es selbst und dann wieder die Blausäure benannt sind. Diese letztere besteht also aus Stickstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff.

§ 43. Die Alkalien, die alkalischen Erden und die Thonerde.

Ebenso wichtig, wie diese Säuren, sind unter den Basen die Alkalien und alkalischen Erden wegen ihrer großen Begierde, sich mit Säuren zu verbinden. Sie wirken daher ebenfalls zerstörend auf die organischen Substanzen ein, mit denen sie längere Zeit in Berührung kommen, und diese Einwirkung nennt man Aetzen. Die wichtigsten Alkalien sind Kali und Natron, welches selbst Oxyde zweier Metalle, des Kaliums und Natriums sind, die nur künstlich dargestellt werden können (G. B. zu § 66.); ferner Ammoniak, eine Verbindung von Stickstoff und Wasserstoff, welche eigentlich eine Luftart ist, aber gewöhnlich in Wasser aufgelöst und unter dem Namen

Salmiakgeist wegen ihres beißenden Geruches bekannt ist*). Kali und Natron stimmen in ihren Eigenschaften sehr überein. Aus der Holzasche, namentlich der der Buchen und Eichen, erhält man durch Uebergießen mit heißem Wasser eine Auflösung von Pottasche, welche kohlensaures Kali ist; aus dem Kochsalze wird, nachdem es zuvor in Glaubersalz (schwefelsaures Natron) verwandelt ist, Soda gewonnen, d. i. kohlensaures Natron. Bringt man zu kochender Lösung von Pottasche oder Soda gelöschten Kalk, so bildet sich kohlensaurer Kalk und es entsteht eine Kali- oder Natronlauge, welches Auflösungen von Kali oder Natron sind. Vertreibt man das überflüssige Wasser, so erhält man Kali oder Natron, die jedoch beide etwas Wasser behalten, von dem sie auch durch die größte Hitze nicht getrennt werden können. Beide wirken ätzend, fressend auf Zeuge und überhaupt auf organische Stoffe. Kocht man jene Laugen unter Zusatz von Fetten oder Oelen, so bilden sich Seifen, die demnach fettsaures Kali oder Natron sind, und zwar sind im Allgemeinen die Kaliseifen weiche oder Schmierseifen, die Natronseifen harte Seifen; doch können die ersteren durch Zusatz von Kochsalz leicht in Natron-, also harte Seifen verwandelt werden, indem das fettsaure Kali und das Chlornatrium sich in fettsaures Natron und Chlorkalium verändern. Die Seifen nun, ebenso wie die Pottasche und Soda, haben die Eigenschaft, Unreinigkeiten und die Fettigkeiten, wodurch jene an der Haut und an Kleidungsstücken festzusitzen pflegen, aufzulösen, so daß sie leicht vom Wasser weggespült werden können, wozu zugleich die Schlüpfrigkeit der Seife selbst beiträgt.

Ganz besonders wichtig ist noch die Verbindung des Kali oder Natron mit der Kieselsäure zu Glas. Kieselsäure ist nemlich nächst dem Sauerstoff der verbreitetste Körper in der Natur, da Sand, Quarz ꝛc. Kieselsäure sind und dieselbe überhaupt einen wesentlichen Bestandtheil der meisten Mineralien bildet. Diese Kieselsäure oder Quarz, Sand ꝛc. giebt nun, zusammengeschmolzen mit Basen, unter denen die hauptsächlichsten Kali oder Natron, daneben auch Kalk, Bleioxyd u. A. sind, Glas, welches ein Gemenge von kieselsaurem Kali, Natron ꝛc. ist.

Gesch. Bem. Man erzählt, daß die Phönizier, einst an einer sandigen Küste gelandet, einige Stücke Salpeter als Unterlage ihrer Kochgeschirre genommen haben; bei dem Feuer sei dann das Kali des Salpeters mit dem Sande zu einer glasigen Masse geschmolzen und so das Glas entdeckt worden.

Den Alkalien zunächst steht in ihrer Wirkung die Kalkerde. Der gegrabene Kalkstein ist selbst kohlensaure Kalkerde, ebenso wie die Kreide, der Marmor; beim Brennen verliert derselbe seine Kohlensäure; daher ist gebrannter Kalk so viel, wie Kalkerde oder Calciumoxyd und wirkt dann stark ätzend. Derselbe zieht aber mit großer Begierde Wasser und Kohlensäure aus der Luft an und zerfällt nach einiger Zeit zu Pulver. Wird ihm dagegen gleich Wasser zugegossen,

*) Salmiakgeist ist längst angewendet worden; als Luftart wurde Ammoniak aber erst von Priestley entdeckt.

so verbindet er sich mit demselben bekanntlich unter lebhafter Erhitzung, und nun heißt der Kalk gelöschter Kalk. Aus demselben wird durch einen weiteren Zusatz von Wasser ein Kalkbrei, welchem Sand beigemengt wird, und als solcher dient er zur Verbindung der Mauersteine, ähnlich dem Leime und Kleister, indem er an der Luft erhärtet; derselbe gewinnt mit den Jahren an Festigkeit, weil sich allmählich der Sand mit dem Kalk zu kieselsaurem Kalk vereinigt. — Von andern Kalkverbindungen erinnern wir noch an den schwefelsauren Kalk oder Gyps (§ 37.), und erwähnen die phosphorsaure Kalkerde, die den Hauptbestandtheil der thierischen Knochen (§ 52.) bildet. — Neben dem Kalk giebt es noch einige alkalische Erden, zu denen z. B. die oben erwähnte Magnesia (§. 40.) gehört.

Von ganz besonderer praktischer Wichtigkeit ist die Thonerde, ebenfalls ein Oxyd eines künstlich dargestellten Metalles, Aluminium. Am häufigsten erscheint sie im Lehm und Thon, welcher kieselsaure Thonerde ist. Diese hat nun folgende sehr wichtige Eigenschaften: 1) sie läßt Wasser nicht durch, sondern hält es selbst sehr fest, ferner zieht sie Ammoniak aus der Luft an; in beiden Punkten liegt die Fruchtbarkeit des Lehmbodens; 2) da der feuchte Thon sich formen läßt und dann im Feuer erhärtet, so dient er dazu, unsere Geschirre daraus zu verfertigen, die nach der Feinheit und Güte der dazu verwendeten Erde gewöhnliche Töpferwaaren, Steingut, Fayence, Porzellan heißen. 3) Der Thon hat die Fähigkeit, einerseits mit den Farbestoffen, andererseits mit den aus dem Pflanzenreiche stammenden Stoffen (Pflanzenfaser) sich fest zu verbinden. Durch diese beiden Eigenschaften ist er besonders zum Färben baumwollener und leinener Zeuge geeignet. Dieselben werden nemlich erst in eine Auflösung getaucht, deren Thonerde sich mit dem Zeuge verbindet, dann in den Farbekessel, in welchem sich der Farbestoff in dem Zeuge mit der Thonerde fest vereinigt; dergleichen Mittel, die Farbe auf dem Zeuge festzuhalten, nennt man Beizen; ganz besonders häufig ist hierzu die Anwendung des Alauns, welches ein sogenanntes Doppelsalz ist, indem es eine Verbindung von schwefelsaurem Kali und schwefelsaurer Thonerde ist. Auf ähnlichem Grunde beruht die bekannte Eigenschaft der Thonerde, Fettflecke aus Papier, Holz ꝛc. auszuziehen.

Gesch. Bem. Das erste Porzellan in Europa ist von Böttticher um 1705 in Dresden verfertigt worden; die erste Porzellanmanufaktur wurde 1710 in Meißen gegründet.

§ 44. Verbindungen der Schwermetalle.

Unter den schweren Metallen, zu denen Platina, Gold, Silber, Queckſilber, Zinn, Zink, Blei, Kupfer, Eisen u. a. gehören, erwähnen wir zunächst das Queckſilber, besonders merkwürdig, weil es sich mit vielen Metallen zu Verbindungen vereinigt, die Amalgame heißen und flüssig zu sein pflegen. Am bekanntesten ist das Amalgam der Zinnfolie, welches zur Belegung der Spiegel benutzt wird. — Sehr bekannt sind die Verbindungen des Kupfers mit anderen Metallen, die man Legirungen nennt; so besteht Messing und Tomback

aus Kupfer und Zink; das Kanonengut, das Glockenmetall, das Broncemetall zu Statuen aus Kupfer und Zinn; Neusilber aus Kupfer, Zink und Nickel. Auch Gold und Silber werden sowohl zu Schmucksachen, als auch zu Münzen mit Kupfer versetzt, um sie fester zur Benutzung zu machen. Noch erwähnen wir als bekannte Kupferverbindung den Grünspan, der zweierlei Art sein kann; bildet er sich an feuchter Luft, z. B. als Ueberzug der Broncestatuen, so ist er ein kohlensaures Kupferoxyd, entsteht er dagegen in Gefäßen, in denen sich saure Speisen befunden haben, so ist er essigsaures Kupferoxyd; beide Arten sind giftig. Das Kupfervitriol ist schon (§ 42.) erwähnt.

Zuletzt sei wegen seiner außerordentlichen Wichtigkeit das Eisen angeführt. Dasselbe ist für die gewöhnliche Benutzung nie rein, sondern hat jederzeit als wesentlichen Bestandtheil Kohlenstoff; derselbe ist am bedeutendsten im Gußeisen, oder Roheisen, welches sich durch seine Sprödigkeit und Schmelzbarkeit auszeichnet, am geringsten im Stab- oder Schmiedeeisen, welches dadurch, daß es bei starker Hitze weich wird und sich zusammenschweißen läßt, seine große Bedeutung erlangt; in der Mitte zwischen ihnen steht der Stahl, bekannt durch seine Härte und Elasticität, wenn er nach dem Glühen nicht zu rasch abgekühlt wird. — Bekannt ist ferner der Eisenrost, ein Eisenoxyd, welches noch etwas Wasser enthält; er ist gelb und giebt dem Thone oder Lehme die gelbe Farbe; ebenso ist er ein Hauptbestandtheil des Ockers oder der gelben Erde. Fehlt der Wassergehalt, so ist dasselbe roth und giebt dem Thone, der dann Röthel oder Bolus heißt, eine rothe Farbe, es ist überhaupt die Ursache der Farbe fast aller rothen Erden und Gesteine, die wir in der Natur sehen, so auch die der Röthe gebrannter Ziegeln. Mit Gerbsäure, welche aus den Galläpfeln gewonnen wird, bildet Eisenoxyd ein schwarzes Pulver, welches in starkem Gummiwasser schwimmt und so die Dinte giebt. — Wegen dieser färbenden Kraft werden die Eisensalze, besonders Eisenvitriol vielfach zum Färben gebraucht.

Zweite Abtheilung. Organische Chemie.

§ 45. Organische Stoffe im allgemeinen.

Diejenigen Stoffe, die wir in der organischen Natur finden, bestehen vorzugsweise aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff; der Stickstoff ist namentlich ein Hauptbestandtheil der thierischen Stoffe, die sich durch die größere Menge desselben von den Pflanzenstoffen unterscheiden. Daneben kommen noch einige andere eben so wesentliche Stoffe vor, aber theils nur in geringer Quantität, theils nur in einzelnen Theilen, theils nur in einzelnen Pflanzen- oder Thiergattungen, besonders noch Schwefel, Phosphor, Kieselerde, Kali, Natron, Kalk ꝛc. Die organischen Verbindungen unterscheiden sich daher unter einander nicht, wie die unorganischen, durch die Verschiedenheit der Hauptbestandtheile, sondern durch das gewöhnlich sehr zusammengesetzte Verhältniß, in welchem dieselben Stoffe eine bestimmte Verbindung eingehen, während dasselbe für

die Mineralien, überhaupt für die unorganischen Stoffe immer sehr einfach ist. Eben weil dieses Verhältniß sehr zusammengesetzt ist, so ist es sehr leicht, dasselbe durch Zusatz oder Entziehung eines Bestandtheiles zu ändern, wobei sogleich ein ganz anderer Körper entsteht, und daher kommt es, daß in der organischen Natur fortwährend die auffallendsten Veränderungen vor sich gehen, wie ja z. B. die genossenen Nahrungsmittel sich in die Bestandtheile des thierischen Körpers, in Fleisch, Blut, Haut, Knochen, Haar ꝛc. verwandeln müssen. — Unter den übrigen Stoffen der organischen Natur sind besonders die sogenannten eiweißartigen Stoffe hervorzuheben, welche neben den drei ersten Hauptstoffen jederzeit Stickstoff und Schwefel enthalten; sie zersetzen sich vorzugsweise leicht und bilden dann Schwefelwasserstoff und Ammoniak (§ 42. und 43.), diese beiden übelriechenden Luftarten. Man unterscheidet unter ihnen drei Arten: 1) Eiweiß, hauptsächlich im Ei und Blute enthalten, doch auch in Pflanzenfrüchten, namentlich den Kartoffeln; es gerinnt sobald es zum Kochen kommt, wie man in den harten Eiern sieht; 2) Caseïn oder Käsestoff, z. B. in der Milch, in Hülsenfrüchten ꝛc.; er hat die Eigenschaft, augengenblicklich zu gerinnen, sobald eine Säure dazu kommt, dagegen nur langsam und nur auf der Oberfläche beim Kochen, beides beobachtet man leicht an der Milch; 3) Faserstoff (Fibrin), unlöslich im Wasser, der Hauptbestandtheil des Fleisches, aber auch in Weizen und Gerste, in denen er Kleber heißt.

Erstes Kapitel.

Wichtige Veränderungen der Pflanzenstoffe.

§ 46. Die Ernährung der Pflanzen.

Die Pflanzen bestehen vorzugsweise, wie schon gesagt, aus Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff; ferner enthalten sie, namentlich in ihren Früchten, die obengenannten eiweißartigen Stoffe, also auch Stickstoff und Schwefel; nicht minder wesentlich für die Pflanzen sind mehrere unorganische (mineralische) Stoffe, als Phosphor, Kali, Kieselerde u. a., die aber nur in geringer und in einer für die einzelnen Gattungen verschiedenen Menge vorkommen. Diese Stoffe nimmt die Pflanze durch die Wurzeln aus dem Boden, durch die Blätter aus der Luft auf; sie müssen sich daher alle in einem flüssigen oder luftförmigen Zustande befinden. Und so ist das Wasser für die Pflanzen nicht bloß als Nahrungsmittel selbst wichtig, sondern es ist zugleich die Vermittlerin, um ihnen die übrigen Stoffe zuzuführen; an der Oberfläche verdunstet es zum Theil wieder, um anderem Wasser Platz zu machen, welches aus dem Boden kommend den gleichen Zweck erfüllt. Die Pflanzen erhalten aber 1) ihren Wasserstoff in dem Wasser, 2) ihren Kohlenstoff in der Kohlensäure, welche vorzugsweise aus der Luft, doch auch aus dem verwesenden Humus (§ 49.) entnommen wird; 3) ihren Stickstoff aus dem Ammoniak, welches sich aus den verwesenden thierischen Stoffen bildet und entweder direkt aus dem

Dünger durch die Wurzeln aufgesogen wird oder erst in die Luft übergeht und aus dieser im Regen niedergeschlagen wird, indem das Wasser eine außerordentliche Begierde zum Ammoniak hat (§ 32.), 4) die unorganischen Stoffe aus den Mineralien des Erdbodens.— Die ersten drei Stoffe sind Bestandtheile der Luft, also allen Pflanzen gleich zugänglich; nur die letzten, die unorganischen Stoffe, werden nothwendig aus dem Boden entnommen und müssen also in diesem enthalten sein oder ihm zugeführt werden. Zugleich müssen sie im Wasser auflöslich sein, damit sie durch dasselbe in die Pflanzen gelangen können. Daher müssen die Mineralien des Erdbodens erst verwittern, und das geschieht am leichtesten, wenn sie mit der Luft und dem Wasser (dem Regen) in steter Berührung sind; darauf beruht der Zweck des Umgrabens und Pflügens, ferner auch des Brachens, wobei der Acker diesem Einfluß der Atmosphäre längere Zeit hindurch ausgesetzt wird. — Indem diese unorganischen Bestandtheile sehr verschieden sind, ist es möglich, daß verschiedene Pflanzenarten auf einem Boden gedeihen; sie können nun entweder zu gleicher Zeit auf demselben wachsen, wie auf den Wiesen, indem jede Pflanze aus dem Boden den ihr nothwendigen Bestandtheil zieht, oder sie können nach einander wachsen, wie es auf dem Acker geschieht, auf dem in mehreren auf einander folgenden Jahren verschiedene Fruchtarten gebaut und so dem Boden nach und nach die einzelnen unorganischen Stoffe entzogen werden; hierauf beruht die Zweckmäßigkeit des Fruchtwechsels. Finden aber Pflanzen an einem Orte nicht den ihnen nothwendigen Stoff oder nicht in gehöriger Menge, so werden sie daselbst auch nur kümmerlich fortkommen, oder es muß ihnen derselbe zugeführt werden. Daher bestreut man Wiesen mit Knochenerde, welche phosphorsauren Kalk enthält, mit Kalk, Mergel, mit Asche, in der die unorganischen Bestandtheile des Holzes, Kali, Kalk u. a. sich befinden. Ueberhaupt ist klar, daß die Vegetation um so lebhafter sein wird, in je reicherem Maaße den Pflanzen die nöthigen Nahrungsstoffe dargeboten werden. Da nun die verwesenden Körper Stoffe bilden, die, indem sie von den lebenden Körpern aufgesogen werden, diesen zu neuer Nahrung dienen, so muß das Wachsthum am schnellsten vor sich gehen, wenn der verwesende Körper sich an derselben Stelle befindet, wo der lebende wächst. Hierauf beruht nun die Wirksamkeit des Düngers, welcher reichlich sowohl die organischen Stoffe, namentlich durch das sich bildende Ammoniak, als auch die unorganischen Stoffe, welche sich jederzeit in den Excrementen finden, darbietet. So erklärt sich ferner die üppige Vegetation der Urwaldungen, wo eine verwesende Generation sogleich die Nahrung einer neu entstehenden giebt. Ebenso wächst die Pflanze schneller auf der Gartenerde, dem Humus, weil ihr durch denselben in gleicher Zeit mehr Kohlenstoff dargeboten wird. Und indem sie so weit mehr Blätter ꝛc. gewonnen, ist sie auch im Stande, ihre in der Luft enthaltenen Nahrungsstoffe in reicherem Maaße an sich zu ziehen.

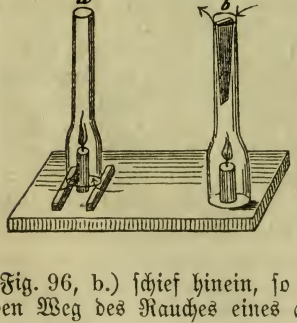
Zweites Kapitel.

Veränderungen der Pflanzenstoffe außerhalb des Organismus.

§ 47. Das Verbrennen.

Unter den Veränderungen, welche die Pflanzenstoffe außerhalb des Organismus erfahren, ist am wichtigsten der Vorgang des Verbrennens. Erhitzt man in einem Probirgläschen Sägespähne, Talg, zerkleinerte Steinkohlen u. dergl., und leitet die sich bildende Luftart durch ein Röhrchen heraus, so kann man dieselbe anzünden; fängt man sie in einem Gefäße in größerer Quantität unter Wasser auf, so kann man, wenn man sie nachher anzündet, das Brennen längere Zeit beobachten, und erkennt dann die Flamme, die bei dem Verbrennen unserer gewöhnlichen Brennmaterialien sich zeigt. Diese Luftart ist Kohlenwasserstoff, welcher einen üblen Geruch hat, der beim Verbrennen sogleich verschwindet, indem sich der Sauerstoff der Luft mit der Kohle zu Kohlensäure, mit dem Wasserstoff zu Wasser verbindet. Wir müssen aber bei dem gewöhnlichen Verbrennen zweierlei unterscheiden: 1) die Flamme, welche nur Statt findet, wenn der verbrennende Körper luftförmig ist, oder sich eine Luftart bildet (daher findet sie z.B. nicht Statt bei glühendem Eisen); 2) das Leuchten, welches darauf beruht, daß ein Körper, der fast immer fest ist, zum Glühen kommt; die Flamme ist hell, wenn der Körper weiß glüht, röthlich, wenn er sich in der Rothglühhitze befindet; daher vermißt man das Leuchten an einer Weingeistflamme, bei welcher es aber sogleich eintritt, sobald man einen Draht hineinhält, der darin zum Glühen kommt. — Damit nun ein Verbrennen der täglichen Brennstoffe Statt finde, sind zwei Bedingungen erforderlich: 1) Sauerstoff muß vorhanden sein; da nun derselbe in der die Flamme umgebenden Luft verzehrt wird, so muß dafür gesorgt werden, die stickstoffhaltige abzuführen und neue sauerstoffhaltige zuzuführen. Darauf beruhen die verschiedenen Einrichtungen zur Bewirkung des Luftzuges. Hält man über eine Flamme einen gewöhnlichen Lampencylinder (Fig. 96, a), so wird dadurch der Luftzug befördert; denn indem der strömenden Luft nur ein schmaler Weg angewiesen wird, geht diese Strömung schneller von Statten, wie eine große Menschenmenge am schnellsten an einer bestimmten Kasse befriedigt wird, wenn sie genöthigt wird, in einem schmalen Kanal bei der Kasse vorbeizugehen. Stellt man aber den Cylinder fest auf den Tisch, so daß von unten keine frische Luft zuströmen kann, oder deckt man denselben oben zu, so daß die Luft nicht abziehen kann, so geht die Flamme in beiden Fällen aus. Bringt man dagegen im ersten Falle in den Cylinder ein Bretchen oder ein Stück Pappe (Fig. 96, b.) schief hinein, so brennt das Licht, und man kann durch den Weg des Rauches eines ausgelöschten Lichtes sehen, daß die Luft

Fig. 96.



an der einen Seite herein, an der andern herauszieht. Darauf beruht nun die Einrichtung der Schornsteine, welche die Stelle der Cylinder im Großen vertreten und um so besseren Zug gewähren, je höher und enger sie sind; darauf der Nutzen des Rostes in manchen Oefen, indem durch denselben dem Feuer von unten Luft zugeführt wird; eben deswegen sind, namentlich bei den Lampen mit cylindrischem Dochte, in dem Gestelle Luftlöcher, um Luft auch dem inneren Ringe des Dochtes zuzuführen; man nennt sie Lampen mit doppeltem Luftzuge. 2) Es ist ein bestimmter Hitzegrad nothwendig, damit sich der Körper mit dem Sauerstoffe der Luft verbinde, bei den gewöhnlichen Brennmaterialien schon dazu, damit sich überhaupt erst das Leuchtgas entwickele; dieser Wärmegrad ist für die verschiedenen Körper verschieden und nicht zu verwechseln mit dem bei der Verbrennung selbst entstehenden Hitzegrade, welcher gewöhnlich viel größer ist. Legt man die Spitze eines Streichhölzchens, also Phosphor, und ein Stückchen Schwefelfaden auf ein Blech in einiger Entfernung von einander und erhitzt das Blech gleichmäßig, so wird der Phosphor viel eher zu brennen anfangen, als der Schwefel. Hält man einen brennenden Holzspan nach unten, so erhitzt die Flamme das darüber befindliche Holz hinreichend, damit der Span weiter brenne; hält man ihn nach oben, so genügt die Hitze nicht, das unter der Flamme befindliche Holz zu entzünden. Legt man ein Drahtnetz durch eine Flamme, so entzieht dasselbe (§ 96.) dem Gase so viel Hitze, daß dasselbe über dem Netze nicht weiter brennt, wenn es nicht dort von neuem angezündet wird. Darauf beruht die Davysche Sicherheitslampe. In den Kohlenbergwerken bildet sich nemlich häufig ein dem Leuchtgase ähnliches Gas, das Grubengas, welches mit atmosphärischer Luft gemengt und plötzlich entzündet oft eine gefährliche Explosion hervorgebracht hat. Diese Gefahr wird durch eine Lampe vermieden, die einfach durch ein Drahtnetz eingeschlossen wird. Es kann sich nemlich in diesem Falle nur die in der Lampe enthaltene Luft entzünden; und so ist der Bergmann hinreichend gewarnt, sich der Gefahr zu entziehen. Wie verschieden die Hitzegrade für die Körper sind, sieht man beim Anmachen eines Feuers; der Phosphor des Streichholzes wird durch Reiben entzündet, der brennende Phosphor entzündet den Schwefel, dieser das Holz u. s. f. — Das Verbrennen wird daher auf zweierlei Art gehindert, oder das Feuer gelöscht, 1) durch Absperren der atmosphärischen Luft, indem man die Flamme bedeckt oder allen Zutritt der Luft hemmt, oder z. B. durch Verbrennung von Schwefel eine andere Luft erzeugt; 2) durch Erniedrigung der Temperatur; so blasen wir das Licht aus durch Zuführung eines kalten Luftstromes; ist die Hitze dagegen stark, so bewirkt das Zuführen der sauerstoffhaltigen Luft ein vermehrtes Feuer, wie durch den Blasebalg die glühenden Kohlen zur Flamme angefacht werden. Ebenso löscht man Feuer durch einen kalten Wasserstrom, der zugleich die Flamme bedeckt; ist aber die Hitze so groß, daß das Wasser durch die glühenden Kohlen zersetzt wird, so wird das Feuer nur vermehrt.

§ 48. Fortsetzung.

Man verfolgt beim Verbrennen im gewöhnlichen Leben zweierlei Zwecke, entweder Beleuchtung oder Erwärmung. Als Beispiel für beide wollen wir genauer die Vorgänge beim Brennen eines gewöhnlichen Talglichtes und beim Verbrennen des Holzes betrachten. Das feste Talg wird zuerst flüssig; das flüssige zieht sich durch die Capillarität in dem Dochte in die Höhe und wird durch den glühenden Docht in Leuchtgas verwandelt; nun unterscheiden wir in der Flamme (Fig. 97.) a) einen dunklen, durchsichtigen Kern um den Docht m, der das Leuchtgas oder den Kohlenwasserstoff enthält; um diesen befindet sich b) ein hellleuchtender Mantel n, in welchem der Wasserstoff verbrennt und der weißglühende Kohlenstoff das Leuchten bewirkt; c) diesen Mantel schließt endlich ein dunkler Theil p ein, in welchem der Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrennt; der untere Theil q ist dagegen Kohlenoxyd, welches mit schöner blauer Flamme zu Kohlensäure wird. Legt man daher einen Draht durch die Flamme, so glüht derselbe in dem Raume nn und am stärksten in pp, weil dort die Hitze wegen des freieren Zutrittes der Luft am größten ist; zugleich setzt sich der Kohlenstoff an dem Drahte ab, so daß er denselben ganz überzieht. Aehnlich ist der Vorgang beim Brennen des Holzes; durch die Hitze entwickelt sich aus demselben Leuchtgas; dies ist der unterste, das Holz zunächst umgebende dunkle Theil; zuerst verbrennt nun der Wasserstoff mit Flamme, die durch den darin glühenden Kohlenstoff hell leuchtet; der größere Theil des Kohlenstoffes ist aber noch zurückgeblieben und verbrennt erst nachher mit starker Gluth, aber kleiner Flamme zu Kohlensäure. — Aus dem Vorigen wird man erkennen, daß die Leuchtkraft eines Körpers durch seinen Wasserstoff, die Heizkraft durch seinen Kohlenstoff bedingt wird. Darum benutzt man zu jenem Zwecke wasserstoffreiche Materialien, als Oele, Fette u. a., zu diesem kohlenstoffreiche, Holz, Steinkohle oder auch reine Kohle. Am deutlichsten zeigt sich dies bei der Benutzung der Steinkohle. Aus denselben gewinnt man durch Erhitzung nach vielfacher Reinigung Kohlenwasserstoffgas, dasjenige Gas, welches man zur Straßenbeleuchtung in größeren Städten anwendet*). Hierbei bleibt dann sehr reine Kohle, der sogenannte Coak zurück, dasjenige Material, welches die größte Hitze giebt. —

Fig. 97.

Die unverbrennlichen Bestandtheile, Kali ꝛc. bleiben in dem Dochte und der Asche zurück. Der Rauch besteht aus unverbrannten Theilen, besonders Kohle, die durch den Luftzug mit fortgeführt werden und sich zum Theil im Schornstein als Ruß ansetzen. Ist der Zutritt der Luft gehemmt, z. B. wenn man die Klappe des Ofens zu zeitig schließt, so werden die sich bildenden Gase in die Stube ge-

*) Uebrigens entsteht auch bei jeder andern Flamme von Talg, Wachs, Holz, Papier ꝛc. (nicht bei Spiritus, wo der luftförmige Alkohol verbrennt) der Hauptsache nach dasselbe Gas.

trieben und wirken tödtlich. Ebenso ist das aus den glühenden Kohlen eines Kohlenbeckens sich entwickelnde Kohlenoxydgas, welches mit bläulicher Flamme brennt, schädlich. Bei einem Lichte, wo weniger Kohlenstoff vorhanden ist, darf der Rauch nur unbedeutend sein. — Kann überhaupt die Verbrennung nur unvollständig Statt finden, so zeigt sich dies durch den üblen Geruch des unverbrannten Leuchtgases, so wie durch die dunkelrothe Färbung der Flamme, in der die Kohle nur zur Rothglühhitze erwärmt wird, endlich durch den dunkleren Rauch oder das Blaken an, welches von der unverbrannten Kohle herrührt. So erklärt sich der Gestank eines ausgeblasenen Lichtes, der Geruch und das Blaken einer ausgehenden Lampe, der starke Rauch und die dunkle Flamme eines schlecht brennenden Feuers von grünem Reisig, das Ansetzen des Russes an einen über eine Flamme gehaltenen Blechlöffel, durch den die Flamme abgekühlt wird. — Absichtlich wird eine unvollständige Verbrennung bewirkt bei der Verkohlung des Holzes in Kohlenmeilern. Da nemlich der Gehalt an Kohlenstoff auch für das beste Holz noch nicht die Hälfte seines Gewichtes beträgt, so treibt man auf künstliche Weise aus dem Holze die beiden zur Erwärmung nicht mitwirkenden Gasarten, Sauerstoff und Wasserstoff, heraus, um blos die Kohle zurückzubehalten. Man schichtet zu dem Zwecke Holzscheite in der Art, wie die Fig. 98. zeigt, zu einem Meiler über einander, und bedeckt das Ganze mit Rasen; in der Mitte ist ein hohler Raum gelassen, und an der Grundfläche gestatten die Zwischenräume zwischen den Scheiten oder ausdrückliche Oeffnungen das Eindringen der Luft zu dem Innern. Hierauf wird der Meiler durch glühende Kohlen, die in den mittleren Raum geschüttet werden, angezündet, dann jedoch die Oeffnung d ebenfalls bedeckt. Zuerst verkohlen die obersten Schichten; die Luft nemlich wird zwischen den Scheiten nach a geführt, nun ist aber die Rasendecke zunächst oben am lockersten, so daß die Gasarten durch dieselbe herausziehen und dort daher ein Verkohlen Statt finden kann. Wird der Dampf zu einer bläulichen Flamme, so wird die Decke dort verstärkt und festgetreten, zugleich aber der darunter liegende Theil mehr abgedeckt und Oeffnungen werden gemacht, so daß sich das Feuer im Innern mehr herabzieht, und so fort, bis der ganze Meiler verkohlt ist; dann wird er stärker mit Erde bedeckt, und alle Oeffnungen werden verstopft, um die Gluth zu löschen.

Fig. 98.

Gesch. Bem. Die ersten Versuche, das aus Steinkohlen bereitete Gas zur Beleuchtung anzuwenden, machte der Engländer Murdoch 1792; er versuchte 1797 die Watt'sche Fabrik in Birmingham (G. B. zu § 104.) zu beleuchten. Im Großen wurde das Gas zuerst in London 1819 zur Beleuchtung der Stadt benutzt.

§ 49. Die Verwesung und Fäulniß.

Aehnlich dem Hergange des Verbrennens ist der bei dem Verwesen der organischen Körper an der Luft, nur daß die Veränderung sehr langsam vor sich geht. Es bildet sich nemlich zuerst dunstförmiges Wasser, nur wenig Kohlensäure, während dagegen der größte Theil des Kohlenstoffes noch zurückbleibt, der einen Hauptbestandtheil der fruchtbaren Gartenerde oder des Humus bildet und dem Erdboden seine dunklere Farbe ertheilt. Ein solcher, ganz besonders fruchtbarer Boden findet sich namentlich auf großen Holzhöfen, aus der allmählichen Verwesung der Holzabfälle entstehend. Im weiteren Verlauf geht dann auch diese Kohle in Kohlensäure über. Um den Humus zu erneuern, müssen daher dem Boden von Zeit zu Zeit aufs Neue verwesende Substanzen beigemischt werden. — Ist der Zutritt der Luft nur gering, dagegen viel Wasser vorhanden und die Temperatur nicht allzu niedrig, so findet die Fäulniß Statt, bei der eine Art Kohlenwasserstoff entsteht, welche Sumpfgas heißt und dem Grubengas (§ 47.) sehr ähnlich ist; der übrige Kohlenstoff ist der Hauptbestandtheil des sich bildenden Schlammes oder Torfes. Die eiweißartigen und thierischen Stoffe, welche zugleich Stickstoff und Schwefel enthalten und sich namentlich in dem Dünger vorfinden, bilden bei der Verwesung Ammoniak und Schwefelwasserstoff. Oft entsteht an Dungstätten auch der Salpeter; der Stickstoff ist nemlich nicht im Stande, sich ohne weiteres mit dem Sauerstoff der Luft zu Salpetersäure zu verbinden; findet sich aber in der Nähe Kali oder Kalk, so veranlassen diese (dürch prädisponirende Wahlverwandtschaft) jene Verbindung, um mit ihr selbst Salpeter oder salpetersauren Kalk zu bilden, welcher dann aus dem Erdboden salzartig heraustritt. Daher war der Salpeter auch schon im Alterthume bekannt. Als man seine wichtige Benutzung zu Schießpulver kennen gelernt hatte, wurde der Salpeter im Großen auf ähnliche Weise gewonnen und dies geschieht noch heute an vielen Orten. Man vermengt faulende thierische Substanzen mit Erde und Asche oder Kalkschutt, bildet daraus lockere Haufen, die man oft mit Urin begießt, und so erhält man entweder Salpeter, oder salpetersauren Kalk; dem letzteren setzt man dann Pottaschenlauge hinzu, wodurch in Folge doppelter Wahlverwandtschaft Salpeter und kohlensaurer Kalk entsteht. Ebenso tritt Salpeter aus lehmenen Wänden heraus und wird von denselben abgekratzt.

Will man einen Körper vor Fäulniß schützen, so muß man das Wasser abhalten; dies geschieht, indem man ihn austrocknet und den Saft entfernt, z. B. beim Pflanzenpressen, oder ihn mit einem Anstrich versieht, der das Wasser nicht zutreten läßt, z. B. Theer (hierzu kann auch das Verkohlen (§ 37.) gerechnet werden), oder indem man ihn mit solchen Stoffen verbindet, welche das Wasser selbst begierig einsaugen; so wirken z. B. Salz beim Einpökeln, der Spiritus u. A.

§ 50. Die Gährung.

Die meisten Gewächse enthalten, besonders in ihren Früchten, einen mehlartigen Stoff, die Stärke, am gewöhnlichsten aus dem

Weizen und den Kartoffeln gewonnen. Diese kann nun durch Zusatz von Schwefelsäure unter starker Erhitzung in Zucker umgewandelt werden. Hierbei entsteht jedoch keine neue Verbindung, indem die Schwefelsäure jene Veränderung nur durch ihre Anwesenheit bewirkt. Dasselbe geschieht durch einen in der keimenden Gerste (dem Gerstenmalze) befindlichen Stoff, Diastas genannt. Die Wichtigkeit dieser Umwandlung werden wir bald bei der Bierbereitung kennen lernen.

Werden zu einer Zuckerlösung eiweißartige Stoffe hinzugefügt, so zerlegt sich der Zucker bei mäßiger Wärme in Weingeist und Kohlensäure; diese Zersetzung kündigt sich durch ein von der entwickelten Kohlensäure bewirktes Aufbrausen an und heißt Gährung. Nimmt der Weingeist dann noch mehr Sauerstoff aus der Luft auf, so verwandelt er sich in Essig. Auf diesem Gährungsprocesse beruht die Bereitung des Weines, Bieres u. A., die wir in den Hauptzügen angeben wollen.

Wein. Die süßen Pflanzensäfte im Obst, in den Johannisbeeren und besonders in den Weintrauben enthalten Zucker und eiweißartige Stoffe; daher geht der süße Most oder Traubensaft auf den Fässern in kühlen Kellern langsam in Weingeist und Kohlensäure über; die stickstoffhaltige Hefe setzt sich auf dem Boden ab. Auf anderen Fässern wird die Gährung fortgesetzt (Nachgährung), welche sehr lange dauert; dann wird der Wein auf Flaschen gezogen. Steht er aber in offenen Flaschen einige Zeit mit der Luft in Verbindung, so findet eine weitere Zersetzung Statt; er wird kahmig und sauer. — Die moussirenden Weine (Champagner) werden alsbald von den ersten Fässern auf Flaschen gezogen, so daß die Nachgährung in diesen selbst und nur unvollständig geschieht; daher bleibt Zucker unzersetzt und sie schmecken süßer, sie enthalten aber namentlich viel Kohlensäure, die nicht hat entweichen können und beim Oeffnen der Flasche das Schäumen und Brausen verursacht.

Anm. Die Farbe und der herbe Geschmack des Rothweins rühren daher, daß man in die ersten Fässer dem Moste die Schalen und Stiele hinzufügt, wodurch derselbe aus den Schalen den rothen Farbestoff, aus den Stielen die Gerbsäure aufnimmt. — Die nördlichen Weine zeichnen sich vor den südlicheren (den italischen, spanischen ꝛc.) durch ihren angenehmen Geruch aus, während diese süßer und stärker sind. In den Trauben der heißeren Gegenden ist nemlich der Zuckergehalt und daher auch die Menge des gebildeten Alkohols bedeutender.

Bier. Das Getreide, vorzugsweise Gerste oder Weizen, läßt man durch Befeuchten bei mäßiger Wärme anfangen zu keimen, wodurch sich in diesen keimenden Körnern, die man Malz nennt, das Diastas bildet. Nachdem das Keimen unterbrochen, wird das Malz geschroten und in heißem Wasser daraus die Würze bereitet, indem das Diastas den Stärkegehalt des Malzes in Zucker umwandelt. Der abgekühlten Würze wird Hefe, welche Kleber, also einen eiweißartigen Stoff enthält, zugesetzt und dadurch die Gährung bewirkt, die bei gewöhnlichem Biere erst auf den Gährbottichen, dann auf dem Fasse vor sich geht; die Kohlensäure, welche sich bei mäßiger Temperatur schnell entwickelt, treibt den festen Kleber, der in dem Getreide

enthalten war und sich nun ausgeschieden hat, auf, nimmt ihn in die Höhe und stößt ihn zum Spundloche aus. Auf den Flaschen findet die Nachgährung langsam Statt, daher schreibt sich der Kohlensäuregehalt des Bieres, der sich in dem Schäumen desselben kundgiebt, und der hefige Satz in den Flaschen. Bei langem Stehen wird das Bier sauer, indem der Alkohol in Essig übergeht.

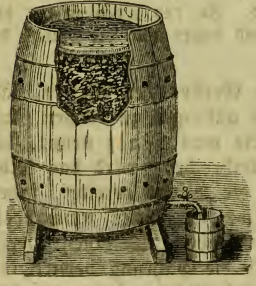
Anm. Der Hopfen, der der Würze hinzugefügt wird, giebt dem Biere eine angenehme Bitterkeit und erhöht die Dauerhaftigkeit desselben. — Geht die Gährung in kühlen Räumen vor sich, so geschieht sie sehr langsam, die schwere Hefe setzt sich unten ab; dagegen ist diese Gährung, welche man die untere Gährung nennt, auch sehr vollständig, und hierdurch erhält das Bier eine größere Stärke und mehr Dauerhaftigkeit; dies sind die Lagerbiere, die baierschen Biere, die dann auch keinen Satz in der Flasche lassen und nicht schäumen.

Branntwein. Das Getreide, vorzugsweise Roggen und Gerste, wird mit Gerstenmalz geschroten; nimmt man Kartoffeln, so werden sie gekocht, zerquetscht und dann mit Gerstenmalz vermischt. Das Ganze wird mit heißem Wasser zu einem Brei eingerührt (eingemaischt), wobei sich durch die Mitwirkung des Diastas der Stärkegehalt in Zucker umwandelt. Durch Zusatz von Hefe wird der Gährungsproceß hervorgerufen, in Folge dessen sich der Alkohol bildet. Diese erhaltene Flüssigkeit wird zum Kochen erhitzt, und der flüchtige Alkohol in Röhren durch Kühlfässer geleitet, in denen er wieder flüssig wird (Destillation § 41.). Dadurch erhält man eine Flüssigkeit, die reicher an Alkohol ist, stärkeren Branntwein und Spiritus.

Anm. Auf ähnliche Weise wird aus Zucker Rum, aus Reis Arrak bereitet; aus Wein, Weintrebern u. A. wird der Franzbranntwein oder Cognac gewonnen.

Essig. Der Branntwein wird zu Essig, indem der Alkohol Sauerstoff aus der Luft anzieht. Dies geschieht aber erst dann, wenn bereits durch einen Zusatz von Essig, Sauerteig u. A., die Essigbildung eingeleitet und die Temperatur hoch genug ist (etwa 25—30° R.). Um den Branntwein in vielfache Berührung mit der Luft zu bringen, bedient man sich gegenwärtig Fässer von 4—5 Ellen Höhe (Fig. 99.) mit einem falschen durchlöcherten Boden, auf dem Hobelspäne von Buchenholz liegen. Auf diese fließt durch die Oeffnungen eines oberen durchlöcherten Bodens an Bindfäden, die durch die Oeffnungen gezogen sind, Branntwein, zuerst mit Essig, dann blos mit Wasser gemischt, und verwandelt sich an den Spänen in Essig, indem die zur Essigbildung erforderliche Luft durch untere Löcher einströmt und erwärmt durch die oberen Oeffnungen entweicht. Unten wird der Essig abgelassen.

Fig. 99.



Backen. Dem mit Wasser oder Milch angemachten Mehle, welches immer auch ein wenig Zucker enthält, wird Bierhefe oder

Sauerteig hinzugesetzt, und die ganze Masse durch einander geknetet; sodann verwandelt sich der Zucker in Kohlensäure und Weingeist, der bei Anwendung des Sauerteiges zum Theil in Essigsäure übergeht; die Kohlensäure bläht den Teig auf, so daß er locker wird. Nachdem er in die gehörige Form gebracht ist, läßt man ihn noch weiter aufgehen und bestreicht die Oberfläche mit Wasser. In der Hitze des Backofens wird nun zunächst die Kohlensäure und ein Theil des Wassers ausgetrieben, während die einzelnen Zellen erhärten und fest werden; dadurch wird das Gebäck porös. Die Oberfläche wird durch die größere Hitze zu einer harten Kruste gedörrt, welche einen glänzenden Ueberzug erhält, indem die Stärke in sogenannten Stärkegummi verwandelt worden ist. — Zum Weißbrot nimmt man Weißmehl, gewöhnlich aus Weizen, welches sehr stärkereich und leicht verdaulich ist, ferner Bierhefe; zum Schwarzbrot dagegen Schwarzmehl aus Roggen, welches seine Farbe von dem bedeutenderen Klebergehalt erhält und dadurch viel nahrhafter ist.

Zweites Kapitel.

Wichtige Veränderungen der thierischen Stoffe.

§ 51. Veränderungen im Organismus.

Im Leben der Thiere hat man zwei wesentlich verschiedene Vorgänge zu unterscheiden, das Athmen und das Verdauen. Die Thiere athmen Luft ein; diese wird durch die geeigneten Organe, für die höheren Thiergattungen in den Lungen, mit dem Blute in die innigste Verbindung gebracht. Hierbei findet ein Proceß Statt, ganz ähnlich der Verbrennung; der Kohlenstoff und Wasserstoff vereinigen sich mit dem Sauerstoffe der Luft zu Kohlensäure und Wasser, und diese werden mit der übrigen nicht zersetzten Luft und dem Stickstoffe derselben wieder ausgeathmet. Zugleich wird das von Kohlenstoff befreite Blut wieder heller. Es ist zugleich sichtbar, daß alle Nahrungsmittel, die reich an Kohlenstoff und Wasserstoff sind, dazu dienen, den Athmungsproceß zu vermehren; zu diesen gehören nun die geistigen Getränke, die Fette, welche allein unter den thierischen Stoffen keinen Stickstoff, dagegen vorzugsweise Wasserstoff enthalten, u. a. Dieser chemische Proceß in den Lungen ist zugleich die Ursache der körperlichen Wärme; daher nehmen die Bewohner der höheren Breiten, um sich mehr zu erwärmen, viel mehr Nahrung zu sich, als die der heißeren Gegenden, und namentlich fette Speisen, als Thran ꝛc. Umgekehrt dient eine warme Bekleidung dazu, eine Ersparung an Nahrungsmitteln möglich zu machen. Der Aufenthalt in freier Luft, starke körperliche Arbeit, welche ein vermehrtes Athmen zur Folge hat, niedrige Temperatur und trockene Luft, bei welcher wir in jedem Athemzuge eine größere Menge Sauerstoff einathmen, sind ebenso viele Ursachen eines stärkeren Verbrauchs an Kohlenstoff, der durch vermehrte Nahrung ersetzt werden muß. — Zugleich ist eine Wechselwirkung zwischen dem Pflanzen- und Thierleben zu erkennen. Während die

Thiere der Luft den Sauerstoff entziehen und Kohlensäure aushauchen, athmen die Pflanzen im Sonnenlichte die Kohlensäure der Luft ein und zersetzen dieselbe, indem sie den Kohlenstoff aufnehmen, den Sauerstoff dagegen ausathmen.

Gesch. Bem. Jene Wirkung des Sauerstoffes der Luft auf das Blut ist zuerst von Priestley entdeckt worden; ebenso das Ausathmen des Sauerstoffes durch die Pflanzen.

Mit der Verdauung der Nahrungsmittel hat es folgende Bewandtniß. Die Speisen werden durch den Magensaft zersetzt und aufgelöst, es entsteht der Speisebrei (Chymus), dessen Zersetzung durch die Galle fortgesetzt wird. Die flüssigen Theile des Speisebreies werden nach den Gesetzen der Endosmose (§ 22.) durch die Lymphgefäße aufgesogen und bilden den Chylus, aus dem das Blut wird. Das Blut aber setzt wieder an jeden Theil des Körpers die ihm gleichartigen Stoffe ab, so daß aus dem Blute die übrigen Körpertheile erneuert werden. Die unauflöslichen Theile des Speisebreies, die daher unverdaulich sind, werden durch die Excremente ausgeschieden. Andrerseits müssen auch körperliche Bestandtheile, die abgenutzt sind, wieder entfernt werden, wozu sie ebenfalls auflöslich sein müssen. Diese Entfernung geschieht nun 1) durch die Ausdünstung der Haut, 2) durch die Lungen; indem nemlich das venöse Blut von den einzelnen Körpertheilen zurückkehrt, nimmt es von ihnen die abgenutzten Bestandtheile auf, und bringt sie, besonders den Kohlenstoff und Wasserstoff, wie oben gesagt, in den Lungen mit dem Sauerstoff in Verbindung. 3) Das Blut setzt auch sehr viele dieser Bestandtheile in den Nieren ab, wo der Harn gebildet wird, der alle auflöslichen Salze, die bisher in dem Körper gewesen sind, und namentlich den überflüssigen Stickstoff enthält. Dieser letztere kommt, wie bemerkt, in allen Theilen des thierischen Körpers, mit Ausnahme des Fettes, vor, aber stets in derjenigen Zusammensetzung, welche die eiweißartigen Körper haben, als Eiweiß, Faserstoff oder Käsestoff, und welche sich bereits in den entsprechenden Pflanzenstoffen vorfindet. Die ersteren sind Hauptbestandtheile des Blutes, der letztere der Milch. Hieraus ergiebt sich, daß zur fortgesetzten Bildung neuer Körpertheile der Genuß stickstoffhaltiger Körper erforderlich ist, und darum sind diejenigen Nahrungsmittel die nahrhaftesten, welche eiweißartige Stoffe enthalten, als Fleisch, Eier, Milch u. a. und von den Pflanzenstoffen die Getreidekörner, besonders die Hülsenfrüchte. Diejenigen dagegen, welche keinen Stickstoff enthalten, z. B. das Fett der Thiere, die stärkehaltigen Kartoffeln, Rüben, Obst, die Krautarten, dienen außer zur Beschleunigung des Athmens bei reichlichem Genusse und ruhiger Lebensart besonders zur Bildung des Fettes.

§ 52. Veränderungen einzelner Stoffe außerhalb des Organismus.

Hieran möge sich noch die Betrachtung einiger im täglichen Leben häufig vorkommenden Veränderungen thierischer Stoffe anschließen. Die Milch besteht aus Wasser, in dem sich Käsestoff, Milchzucker und Fettkügelchen befinden. Beim ruhigen Stehen der Milch steigen nun

die leichteren Fettkügelchen in die Höhe und bilden den Rahm oder die Sahne; der dünnere Theil bleibt unten. — Wird die Sahne abgenommen und geschlagen, nachdem sie sauer geworden, so zerreißen die Hüllen der Fettkügelchen, und der Inhalt backt zu Butter zusammen, der übrige wässerige Theil aber bildet die säuerlich schmeckende Buttermilch. Die Milch wird aber dadurch sauer, daß der Milchzucker an der Luft in Milchsäure übergeht, und diese Säure läßt die Milch wegen ihres Käsestoffs (§ 45.) gerinnen; so entsteht die saure Milch. Preßt man nun von dieser sauren Milch, der man den Rahm abgenommen hat, das Wasser ab, so bleibt der Käsestoff übrig, aus dem unsere gewöhnlichen mageren Kuhkäse bereitet werden, die bei längerem Stehen in übelriechende Stoffe übergehen. Die fetten Süßmilchkäse dagegen werden von süßer Milch, der die Sahne nicht abgenommen ist, gemacht, indem man das Gerinnen derselben durch ein Stückchen Kälbermagen (Lab) hervorbringt und dann das Wasser abpreßt.

Das Fleisch besteht aus Fleischfaser und Fleischflüssigkeit. Jene ist bekanntlich ein eiweißartiger Körper und besonders nahrhaft; diese enthält im Wasser vorzugsweise Eiweiß. Beim gewöhnlichen Kochen und Braten des Fleisches gerinnt in demselben das Eiweiß der Fleischflüssigkeit und läßt die letztere nicht heraus, so daß das Fleisch saftig, locker und weich wird. Erhitzt man dagegen das Wasser langsam, so zieht es die Fleischflüssigkeit heraus und alle nahrhaften Stoffe derselben gehen in die Brühe, während nur die zähe Fleischfaser übrig bleibt. Die erkaltende Brühe gerinnt bekanntlich zu einer Gallerte. Diese rührt von einer Substanz her, welche ein Hauptbestandtheil der Haut und aller Gewebe ist, und Leimsubstanz heißt, weil aus ihr der bekannte Leim entsteht. Derselbe wird nemlich bereitet, indem man Hautabfälle, zu denen auch Klauen, Nägel u. a. gehören, in Wasser bringt, dasselbe siedet und dann die geklärte Flüssigkeit erkalten läßt. Außerdem wird aus der Haut das Leder gewonnen, indem über die thierischen Häute, nachdem sie der Haare beraubt sind, Lohe aus Eichenrinde gepackt und über dieselbe Wasser gegossen wird. Mit der Leimsubstanz bildet nemlich die Gerbsäure eine weiche, im Wasser unlösliche und der Verwesung nicht ausgesetzte Verbindung; das Wasser zieht nun aus der Lohe die Gerbsäure und diese bildet mit der Leimsubstanz in den Häuten jene Verbindung, die eben dem Leder die Eigenschaften geben, im Wasser nicht löslich und der Verwesung nicht ausgesetzt zu sein. — Auch die Knochen enthalten Leimsubstanz und geben daher im Wasser gekocht eine kräftige Brühe (§ 101.); glüht man dagegen Knochen in freier Luft, so verbrennt die Leimsubstanz, und es bleibt der andere Bestandtheil, die Knochenerde, zurück, die größtentheils phosphorsaure Kalkerde ist; glüht man dagegen Knochen in einem luftdichten Tiegel, so verkohlt die Leimsubstanz, und entfernt man dann die Knochenerde durch Salzsäure, so bleibt die Thierkohle zurück, die dadurch eine außerordentliche Porosität erlangt.

Gesch. Bem. zur Chemie. Da die chemischen Vorgänge überall ins Leben eingreifen und fortwährend ohne unser Zuthun in der Natur vor sich gehen, sich der Beobachtung daher auch gar nicht entziehen können, so hat

man schon sehr frühzeitig auf dieselben geachtet und durch Vermischung gewisser Stoffe andere hervorgebracht. So haben, wie schon oben bemerkt, die alten Phönizier die Bereitung des Glases verstanden, und auch den Aegyptern sind viele chemische Vorgänge bekannt gewesen und von ihren Magiern benutzt worden. Aber an allgemeine Gesetze für diese Erscheinungen war nicht zu denken, und was die Alten darüber aufstellten, war verkehrt. So galten bei den Griechen und noch während des Mittelalters Feuer, Wasser, Luft und Erde als die vier Elemente aller Körper. Die Araber bewahrten die chemischen Kenntnisse der Alten; unter ihnen ist am berühmtesten Geber, der schon im 8. Jahrhundert lebte und unter anderen Vorgängen bereits die Wirkung des Scheide- und Königswassers (§ 42.) kannte. Er suchte bereits einen Stoff, später Stein der Weisen genannt, welcher alle Metalle in Gold verwandeln und alle Krankheiten vertilgen sollte, und diese Aufgabe stellten sich nach ihm Alle, die sich mit chemischen Versuchen abgaben, Alchemisten genannt. Hierbei sind viele wichtige Entdeckungen gemacht worden, z. B. die des Schießpulvers (§ 42.). Aber die ersten allgemeinen Grundsätze stellte der Arzt Sylvius auf (geb. 1614 zu Hanau, gest. 1672 als Professor in Leyden), indem er den Gegensatz zwischen Säuren und Alkalien hervorhob und zeigte, daß dieselben vereinigt ihre Wirkung aufhöben, worauf er seine Behandlung aller Krankheiten gründete. Diese Grundsätze wurden namentlich von Boyle (§ 34.) weiter ausgeführt, der z. B. die oben (§ 39.) erwähnten Kennzeichen der Säuren und Alkalien kannte. Dabei stellte der Arzt Stephan Geoffroy (geb. 1672 zu Paris, gest. 1731) die Lehre von der chemischen Wahlverwandtschaft auf, indem er theils aus eigenen Versuchen, theils aus denen Anderer die mehr oder weniger starke chemische Verwandtschaft der Körper bestimmte und zuerst Tabellen über diese Stärke entwarf. Diese Lehre wurde namentlich durch unzählige Versuche von dem gelehrten Chemiker Bergmann (geb. 1735, als Professor in Upsala gest. 1784), weiter ausgeführt. In anderer Beziehung hatte man dagegen noch sehr irrige Vorstellungen über die eigentlichen Bestandtheile der Körper, da ja der Sauerstoff noch nicht bekannt war. Doch hatten bereits Becher (geb. 1635, Leibarzt des Kurfürsten von Baiern, gest. 1682) und Stahl (geb. 1660, Professor in Halle, später Hofarzt in Berlin, gest. 1734) die Aehnlichkeit der Vorgänge beim Verbrennen, Athmen, bei der Bildung von Oxyden und Säuren erkannt, den Unterschied zwischen einfachen und zusammengesetzten Körpern aufgestellt und eine vollständige Theorie gegeben, die zur Erklärung der bekannten Erscheinungen hinreichte, so lange man das Gewicht nicht berücksichtigte. Dies Letztere geschah, nachdem die Verschiedenheit der Gase bekannt geworden war (§ 38.) von Lavoisier, dem Gründer der neueren Chemie, der bald nach Entdeckung des Sauerstoffes die noch jetzt als richtig anerkannten Grundsätze dieser Wissenschaft aufstellte, nemlich: wie groß auch die Veränderungen sind, denen die Körper unterworfen sind, kein Theil derselben kann verloren gehen; sämmtliche Stoffe müssen zusammen nach der Veränderung so viel wiegen, als vorher; der Sauerstoff ist ein einfacher Körper, der mit den Metallen Oxyde, mit Schwefel, Phosphor und Kohle Säuren bildet, ein Bestandtheil der Luft ist, das Brennen und Athmen unterhält und dabei Wärme erzeugt. — Von den großen Fortschritten, welche die wissenschaftliche Chemie seit jener Zeit gemacht hat, kann hier nur die Entdeckung der einfachen, zwischen den einzelnen Verbindungen Statt findenden Zahlengesetze, deren wichtigster Theil in dem Anhange erörtert ist, erwähnt werden. Dieselben sind zuerst von Wenzel in Dresden 1777 und Richter in Berlin 1792 ausgesprochen und nachgewiesen, besonders aber durch Dalton in eine umfassende Theorie, die atomistische (1807), gebracht

worden. Die genaue Erkenntniß der chemischen Vorgänge in der Thier- und Pflanzenwelt verdankt die Wissenschaft neben Andern vorzugsweise Liebig, gegenwärtig Professor in München. — Hier möge noch Einiges aus dem Leben der drei Männer, welche durch die fast gleichzeitige Entdeckung des Sauerstoffes den Grund der neueren Chemie gelegt haben, angegeben werden. Scheele, geb. 1742 in dem damals schwedischen Stralsund, wurde als Knabe von 12—13 Jahren zu einem Apotheker in Gothenburg in die Lehre gegeben. Ohne wissenschaftliche Bildung, bewies er doch frühzeitig ein tiefes Nachdenken über das, was er sah, und einen unbegrenzten Eifer, Versuche anzustellen, zu denen er oft die Nachtzeit verwendete. Einst hatte in Stockholm ein muthwilliger Kamerad etwas Explodirendes seinen Sachen beigemengt, und nun wurden ihm seine nächtlichen Untersuchungen verboten. Später 1773 kam er nach Upsala; hier wurde durch Zufall der berühmte Bergmann auf den jungen Mann aufmerksam, und ist von der Zeit an sein lebhaftester Gönner gewesen, der es sich jederzeit angelegen sein ließ, die Entdeckungen des höchst bescheidenen und zurückgezogenen Mannes zu verbreiten und den Ruhm desselben zu vermehren. Scheele schlug jedoch alle Anerbietungen einer bedeutenderen Stellung, die ihm z. B. auch Friedrich der Große machte, aus und wurde Vorsteher einer kleinen Apotheke in Köping in Schweden, um dort in aller Ruhe seine Untersuchungen fortsetzen zu können. Er gerieth aber im Gegentheil in große Sorgen, da die Apotheke äußerst verschuldet war; doch ließ er seine Untersuchungen nicht darunter leiden; nur den sechsten Theil dessen, was ihm übrig blieb, verwandte er auf seine persönlichen Bedürfnisse, das Uebrige auf seine chemischen Arbeiten. So lebte er, nur den Männern der Wissenschaft durch Bergmanns Vermittelung bekannt und von ihnen hinter seinem Ladentische aufgesucht, und machte hier die ausgedehntesten Untersuchungen und Entdeckungen (§ 38.). Als er die Schulden der Apotheke abgezahlt, heirathete er die Wittwe seines Vorgängers, die ihn zuerst aufgenommen hatte, starb aber 4 Tage nachher, 1786, 44 Jahr alt. — Von ganz entgegengesetztem Charakter war Priestley, 1733 in England geboren. Er war zum Kaufmann bestimmt, besaß aber als Erbtheil seiner sehr religiösen Mutter ein außerordentliches Interesse für alle religiösen Fragen, erwarb sich bei einem sehr glücklichen Gedächtnisse eine ausgedehnte Gelehrsamkeit und ging auch sehr bald zum geistlichen Stande über. Durch ein Zusammentreffen mit dem berühmten Franklin (§ 62.) im Jahre 1765 wurde er veranlaßt, den Naturerscheinungen, namentlich der Elektricität, eine größere Aufmerksamkeit zu widmen, und stellte, als er später neben einer Brauerei wohnte, die ersten Untersuchungen über die Kohlensäure an, die sich bei der Gährung entwickelte. Ein englischer Lord, der ihn 1773 als Kaplan zu sich nahm, gewährte ihm die Hülfsmittel für seine Untersuchungen, die er besonders über die verschiedenen Gase anstellte, von denen er die meisten zuerst entdeckte (vergl. Anm. zu § 42. 43.). Diese seine Entdeckungen waren der Gegenstand der lebhaftesten Bewunderung aller Gelehrten; ja die Welt glaubte in der That, durch den Sauerstoff, den man auch Lebensluft nannte, die früheren Hoffnungen auf einen alle Krankheiten vertilgenden Stoff verwirklicht zu sehen. Sehr bald kehrte Priestley jedoch zu seinen religiösen Beschäftigungen zurück, trennte sich 1780 von seinem Gönner und verwickelte sich durch seine Streitschriften (80 Bände über religiöse Streitfragen gegen alle Religionsgesellschaften, Confessionen und Sekten) in fortwährende Kämpfe, in denen er außerordentliche Hartnäckigkeit bewies. In Folge davon mußte er einst seine Bibliothek zerstören und sein Haus verbrennen sehen, und entzog sich selbst nur mit Mühe der wüthenden Menge. Später 1794 ging er nach Nordamerika, wurde durch fremde Unvorsichtigkeit vergiftet und starb in Folge davon 3 Jahre später 1804. Naturwissenschaftliche Vorkenntnisse besaß er

nicht; auch trieb er die Untersuchungen, die seinen Ruhm für immer begründet haben, nur kurze Zeit und als Liebhaberei. Seine Hartnäckigkeit bewies er auch hier, indem er, der durch seine Entdeckungen den Grund zu dem Umschwunge der Chemie gelegt hatte, zuletzt der einzige Gegner dieser neuen von Lavoisier aufgestellten Theorie war. Dieser, 1743 in Paris, 6 Monate später als Scheele, geboren, machte seine Studien, in denen ihm sein sehr wohlhabender Vater volle Freiheit zugestand, bei den ausgezeichnetsten Lehrern. Welchen Eifer er hier bewies, und welcher Entsagungen er überhaupt fähig war, zeigte er, als er sich 22 Jahre alt um eine Preisfrage der Akademie über die beste Art, Paris zu beleuchten, bewarb. Sechs Wochen lang brachte er in einem vollkommen dunklen Zimmer zu, um sein Auge für die verschiedene Stärke der Beleuchtung empfindlich genug zu machen. Den Preis von 2000 Livres, der ihm zuerkannt wurde, vertheilte er unter drei Mitbewerber, erhielt dagegen selbst 1766 vom Könige eine goldene Medaille. Um seine kostspieligen Untersuchungen fortsetzen zu können, wurde er Generalpächter der Landessteuern. Als solcher war er auf Herabsetzung der Abgaben und Erleichterung in Einziehung derselben bedacht; die Zeit des Tages war diesem einträglichen Amte gewidmet. Dagegen verwendete er die Morgen- und Abendstunden und besonders die Sonntage, an denen seine Wohnung der Sammelplatz der jungen Chemiker war, auf seine wissenschaftlichen Untersuchungen, und mit solchem Fleiße, daß in einzelnen Jahrgängen der Akademie, deren Mitglied er mit 25 Jahren geworden war, nicht alle seine Aufsätze Platz finden konnten. Schon 1772 stellte er die ersten Grundsätze seiner späteren Theorie auf, indem er durch genaue Benutzung der Wage zeigte, daß die Metalle beim Oxydiren der Luft einen Theil entziehen und dadurch schwerer werden. Als er nun umgekehrt durch ein ungewöhnlich großes Brennglas diese Luft aus dem Quecksilberoxyd wieder zu entfernen suchte, erhielt er den Sauerstoff, allerdings etwas später, als Priestley. Und so hat er weiter mit großer Umsicht seine Theorie nach allen Seiten durch Versuche zu begründen gesucht, jeden Streit um Worte vermied er und stellte nur die Thatsachen hin. Endlich 1783 faßte er dieselben zu einer abgeschlossenen Theorie zusammen, und wenn sie auch zuerst wenig Anhänger fand, hatte er doch schon nach einigen Jahren die Freude, sie von allen ausgezeichneten Männern seiner Zeit, die zuerst Gegner derselben gewesen waren, angenommen zu sehen. Sein Ende war höchst traurig. Sein Vermögen reizte die Habsucht der republikanischen Regierung; er wurde nebst den andern Generalpächtern der Verfälschung des Tabacks angeklagt. Zunächst fand er in den Räumen des Akademiegebäudes seine Zuflucht, doch verließ er dasselbe, als er die Verhaftung seiner Kollegen erfuhr. Auch er wurde ohne einen gegründeten Verdacht zum Tode verurtheilt; vergebens setzte ein muthiger Bürger die großen Verdienste des ausgezeichneten Mannes auseinander, und auf die dringenden Vorstellungen des Chemikers Loysel versetzte Robespierre nur: „Wir bedürfen keiner Gelehrten mehr“. Er wurde am 8. Mai 1794 durch die Guillotine enthauptet. „Ein betrübender Beweis, daß in den Tagen politischer Zügellosigkeit Unschuld, häusliche Tugend und öffentliche Verdienste, daß liebenswürdige Sitte und allgemeine Achtung, daß selbst hohes Talent und der glänzendste wissenschaftliche Ruhm, daß alles dies nicht vermag, den Besitzer dieser Schätze vor Gewaltthätigkeit und vor der blutigsten, unter richterlichen Formen einherschreitenden Ungerechtigkeit zu beschützen.“

Zweiter Abschnitt.

Magnetische Erscheinungen.

Erstes Kapitel.

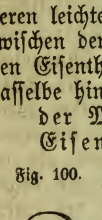
Die Wirkung eines gewöhnlichen Magneten.

§ 53. Die Grundgesetze der magnetischen Erscheinungen.

Nähert man einen Magneten Eisenfeilspänen, so zieht er dieselben an und hält sie fest; er zeigt keine Wirkung, wenn man ihn anderen leichten Körpern, Sand, Federn u. a. nahe bringt. Hält man zwischen den Magneten und die Eisenfeile ein Blatt Papier, so bleiben Eisentheilchen am Papiere hängen, indem der Magnet sie durch dasselbe hindurch anzieht. Man sieht hieraus:

der Magnet, der selbst aus Eisen besteht, zieht nur Eisen an; andre Körper stören seine Kraft nicht*).

Fig. 100.



Legt man einen Magneten seiner Länge nach in Eisenfeile und hebt ihn dann auf, so bemerkt man (Fig. 100.), daß die Eisentheilchen am stärksten an den beiden äußersten Enden angezogen worden sind, daß in der Mitte dagegen der Magnet gar keine Anziehung gezeigt hat. Man nennt die beiden Enden die Pole, die Mitte die Indifferenzstelle eines Magneten. — Hängt man einen Magneten an einem Faden so auf, daß er sich herumdrehen kann, so richtet er sich so, daß er mit dem einen Pole ungefähr nach N., mit dem andern also ungefähr nach S weist, daher heißt der erstere der Nordpol, der andere der Südpol. Dies sieht man am besten an der bekannten Magnetnadel, deren Mitte auf eine Spitze gesteckt wird, um die sie sich leicht drehen kann. Eine solche ist der wichtigste Theil eines Compasses, den die Schiffer auf dem Meere benutzen, um immer gleich zu wissen, nach welcher Richtung N. liegt. — Nähert man nun denselben Pol eines Magneten nach einander den beiden Polen einer Magnetnadel, so wird der eine Pol angezogen, der andere abgestoßen. Das Entgegengesetzte geschieht, wenn man den andern Pol des Magneten anwendet. Untersucht man genauer, welche Pole sich angezogen und abgestoßen haben, so findet man das Gesetz:

Die gleichnamigen Pole (N. u. N., S. u. S.) stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an. (Gesetz der Polarität.)

---

*) Dieses Gesetz ist nicht genau; auch Nickel und Kobalt, zwei seltene Metalle, zeigen sich magnetisch, und neuere Untersuchungen, zuerst 1845 von Faraday (G. B. zu § 66.) angestellt, haben gezeigt, daß Magnete von gewaltiger Kraft auf alle Körper entweder eine Anziehung oder eine Abstoßung ausüben, beides aber nur in so geringem Grade, daß es hier füglich unberücksichtigt bleiben konnte.

Nach dem Obigen möchte man urtheilen, daß in der Mitte eines Magneten keine magnetische Kraft vorhanden wäre. Bricht man aber eine magnetisirte Stricknadel in der Mitte durch, so zeigen sich beide Bruchstellen ebenfalls magnetisch. Nähert man ferner den Pol eines Magneten einem Schlüssel, den man in Eisenfeilspäne taucht, so hängen sich dieselben auch an den Schlüssel. Entfernt man den Magneten, so fallen auch die Eisentheilchen ab. Bringt man aber eine Nähnadel an den Pol eines Magneten, so wird sie zwar erst nach einer Weile Eisenfeile anziehen, dieselbe aber auch festhalten, nachdem sie vom Magneten abgezogen ist. Hierdurch verliert jedoch der ursprüngliche Magnet nicht das Geringste von seiner Kraft. Zur Erklärung dieser Erscheinungen stellt man sich nun vor, daß jedes Eisentheilchen selbst ein unendlich kleiner Magnet mit einem Nord- und Südpol sei. In einem magnetischen Stück Eisen sind nun diese kleinen Magneten sämmtlich so gelagert, daß alle Nordpole nach der einen, alle Südpole nach der andern gewendet sind; dadurch verstärkt sich ihre Wirkung an den beiden Enden und hebt sich in der Mitte auf; bei einer Durchbrechung erscheint aber jedes einzelne Stück selbst wieder als ein vollständiger Magnet. In einem unmagnetischen Eisen liegen dagegen die kleinen Magneten ohne Ordnung und die Wirkung des einen hebt die des andern auf. Nähert man nun einem solchem Eisen den Pol eines wirklichen Magneten, so richtet dieser sämmtliche Eisentheilchen in der Weise, daß alle entgegengesetzten Pole sich ihm zuwenden, die gleichnamigen von ihm abwenden; das Eisen erscheint also selbst magnetisch. Zwischen dem weichen und harten Eisen (Schlüssel und Stahlnadel) findet aber der Unterschied Statt, daß im weichen diese Anordnung sofort, im harten nur langsam erfolgt, dagegen bleibt dieselbe im harten dauernd, während sie im weichen sofort mit der Einwirkung des Magneten aufhört. Daher ergiebt sich folgendes Gesetz:

Wenn man einen magnetischen Pol einem Stück Eisen nähert, so zeigt das letztere magnetische Wirkungen, und zwar an dem Magneten zugewendeten Ende den ungleichnamigen, an dem andern den gleichnamigen Magnetismus. Diese magnetische Kraft bleibt im harten Eisen dauernd, im weichen nur so lange, als es dem Magneten genähert bleibt.

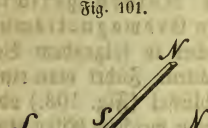
Aus diesen Gesetzen erklären sich zunächst leicht die Spielereien, in denen Fische, Schwäne u. A. durch den einen Pol eines Magneten angezogen, durch den entgegengesetzten Pol aber abgestoßen werden. Namentlich aber werden jetzt folgende Erscheinungen, die wir schon bei den vorigen Versuchen hätten beobachten können, deutlich werden. Zunächst sehen wir nemlich (Fig. 100.), daß die Eisentheilchen, zu mehr oder weniger langen Nadeln zusammengesetzt, an den Polen hangen. Jedes ist nemlich selbst magnetisch geworden und hat so ein neues Theilchen angezogen und zugleich magnetisirt. Noch deutlicher sieht man dies, wenn man Eisenstiftchen nimmt, indem man dann eines an das andere zu hängen vermag. Ferner gehen die Nadeln aus Eisenfeile an demselben Pole aus einander; betrachten wir etwa den Nordpol, so werden in den Eisentheilchen die Südpole angezogen; folglich

enthalten die äußersten Spitzen lauter Nordpole, und stoßen sich daher unter einander ab. Ist der Magnet hufeisenförmig, so vereinigen sich die Nadeln zwischen beiden Polen zu einer zusammenhängenden Masse. Die Spitzen der Nadeln des Nordpols haben nemlich Nordmagnetismus, die des Südpols Südmagnetismus; folglich ziehen sich beide Arten an. Bringt man einen Magneten unter ein dünn mit Eisenfeilspänen bestreutes Papier, so richten sich dieselben unter den Polen zu kleinen Nadeln, von einander gespreizt, in die Höhe und fallen zusammen, sobald man den Magneten an eine andere Stelle schiebt. — Hat man zwei Nähnadeln auch nur durch einmaliges Bestreichen mit einem der Pole magnetisch gemacht, so zeigen dieselben, in der Mitte an Fäden neben einander aufgehängt, gegenseitig Anziehung und Abstoßung. Sind beide in Eisenfeilspäne getaucht worden und nähert man jetzt mit den Händen die gleichnamigen Pole beider Nadeln, so weichen die Eisentheilchen von einander, nähert man zwei ungleichnamige Pole, so strecken sich jene einander zu.

§ 54. Die Bereitung und Armirung der Magnete.

Auf dem Verhalten des harten Eisens beruht die Hervorbringung künstlicher Magnete, im Gegensatze zu den natürlichen Magneten, welche in der Erde als Eisenerz gefunden werden. Setzt man nemlich in der Mitte eines Stahlstabes (Fig. 101.) den einen Pol eines Magneten etwas geneigt auf und führt ihn auf dem Stabe entlang immer nach derselben Seite hin, aber nie zurück, und verfährt dann mit dem andern Pole in gleicher Weise von der Mitte aus nach der andern Seite hin, so erhält der Stahlstab in jeder Hälfte den entgegengesetzten Magnetismus von dem, mit dem er bestrichen wurde. Dies ist das Verfahren des einfachen Striches. Man kann auch einen Hufeisenmagneten mit beiden Polen in der Mitte aufsetzen und nach beiden Seiten mehrmal hin und zurück bis ans Ende führen und dann in der Mitte abheben; in diesem Falle haben die Pole des Stabes die entgegengesetzte Lage von den Polen des Magneten. Dies ist das Verfahren des Doppelstriches.

Fig. 101.



Aus dem Verhalten des weichen Eisens zu einem Magneten erklärt sich die sogenannte Armirung eines Magneten (Fig. 102.). Man legt an die beiden Pole ein Stück weiches Eisen, Anker genannt, welches in der Mitte einen Haken zum Anhängen hat. Indem nun beide Pole gemeinschaftlich wirken und zugleich den im Anker enthaltenen Magnetismus vertheilen, ist der Magnet im Stande, an dem Anker weit mehr, als das Doppelte desjenigen Gewichtes zu tragen, welches jeder einzelne Pol tragen würde. Diese Armirung dient zugleich dazu, die Kraft in dem Magneten ungeschwächt zu erhalten, und man kann die letztere bis zu einer gewissen Grenze verstärken, wenn man das Gewicht, welches man dem Magneten zu tragen giebt, allmählich vermehrt. Ist das

Fig. 102.

Gewicht aber zu groß, so daß der Anker abgerissen wird, so verliert der Magnet dadurch sogleich bedeutend von seiner Kraft. Ueberhaupt schwächt jede Erschütterung die Stärke des Magneten; umgekehrt kann aber auch ein Eisenstab, senkrecht gehalten, durch Aufschlagen mit dem Hammer magnetisch werden.

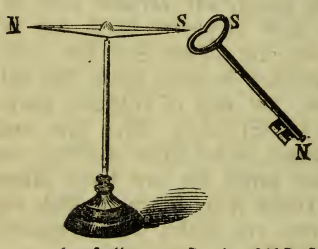
Die Armirung wendet man namentlich auch bei natürlichen Magneten an, deren magnetische Anziehung dadurch oft zu einem außerordentlich hohen Grade wächst. Einen solchen soll Newton besessen haben, der in einen Ring gefaßt bei 3 Gr. Gewicht 746 Gr. zu tragen vermochte, und im Taylorschen Museum in Haarlem ist ein gewaltiger Magnet, dessen Anker nicht durch 230 Pfund abgerissen werden kann.

Zweites Kapitel.

§ 55. Die Wirkung des Erdmagnetismus.

Es ist bereits oben (§ 53.) erwähnt, daß der freischwebende Magnet eine bestimmte Richtung annimmt; da sie im allgemeinen an allen Orten der Erde dieselbe ist, so erkennt man, daß die Erde eine Wirkung ausübt, wie ein Magnet, der seinen Nordpol nach Süden und seinen Südpol nach Norden gerichtet hätte. Die noch unbekannte Ursache nennt man Erdmagnetismus. Man kann die Wirkung desselben noch deutlicher in folgendem Versuche beobachten. Führt man einen längeren Schlüssel (Fig. 103.) oder einen Stab von weichem Eisen etwa senkrecht in einiger Entfernung bei dem Südpole einer Magnetnadel von unten nach oben vorbei, so bemerkt man im Anfange ein schwaches Abstoßen, nachher eine deutliche Anziehung; führt man den Schlüssel von oben nach unten bei dem Nordpole vorbei, so beobachtet man ebenfalls zuerst ein Abstoßen, nachher ein Anziehen. Durch den Erdmagnetismus wird nemlich der Magnetismus in dem Eisen vertheilt, so daß derselbe unten Nord-, oben Südmagnetismus erhält, und demgemäß muß er mit dem unteren Ende den Südpol anziehen, den Nordpol abstoßen, und umgekehrt. Da übrigens bekanntlich der Magnet überhaupt Eisen anzieht, so ist bei diesem Versuche niemals das Anziehen, sondern nur das Abstoßen ein deutliches Zeichen, daß in dem Schlüssel selbst durch den Erdmagnetismus der Magnetismus vertheilt ist. Auch darf man den Schlüssel der Nadel nicht zu nahe bringen, weil sonst die Wirkung der Nadel die des Erdmagnetismus überwindet und nur Anziehung erfolgt.

Fig. 103.



Bringt man eine Magnetnadel, indem man sie auf einem kleinen Korkstückchen befestigt, zum Schwimmen auf dem Wasser, so nimmt sie ihre bestimmte Richtung an. Man könnte meinen, sie müsse

vom Südmagnetismus der Erde angezogen nach Norden zu schwimmen. Das ist aber nicht der Fall. Denn derselbe Südmagnetismus der Erde, welcher den Nordpol der Nadel anzieht, stößt eben so stark ihren Südpol ab; der Erdmagnetismus wirkt daher nicht anziehend, sondern nur richtend. Diese Richtung aber, welche eine frei schwebende, in ihrem Schwerpunkte aufgehängte Magnetnadel erhält, ist zweierlei Art: 1) im allgemeinen die der Erdachse, also von Süden nach Norden; 2) so, daß bei uns der Nordpol sich nach unten senkt und gegen den Horizont geneigt ist. Die Abweichung von der genau nördlichen Richtung heißt Deklination; die Neigung der Magnetnadel gegen den Horizont heißt Inklination.

Zu den Naturerscheinungen, welche mit dem Erdmagnetismus in einer noch unbekannten Verbindung stehen, gehört auch das Nordlicht, welches sich namentlich in den Polargegenden häufig und mit starkem Glanze zeigt. Das Genauere über seine Entstehung, seine Höhe ꝛc. ist noch nicht mit voller Sicherheit ermittelt. Nur das ist mit Genauigkeit beobachtet, daß vor und während eines Nordlichtes die Magnetnadel sich in einer unruhigen Bewegung befindet, und zwar auch an Orten, wo das Nordlicht selbst nicht sichtbar ist. Man schließt daraus, daß dann auch der Erdmagnetismus in einem gestörten Zustande sei, und betrachtet das Nordlicht als eine Folge dieser Störung.

Anm. Die Magnetnadel ist, wie oben gesagt, nur im allgemeinen von Süden nach Norden gerichtet; eine Ebene senkrecht auf dem Horizonte durch eine freischwebende Magnetnadel gelegt, heißt die Ebene des magnetischen Meridians an diesem Orte; die Linie, in welcher diese Ebene den Horizont schneidet, heißt der magnetische Meridian, und der Winkel, den derselbe mit dem geographischen Meridian bildet, die Abweichung der Magnetnadel oder Deklination. Dieselbe ist nun verschieden 1) für die einzelnen Orte der Erde; so ist sie in Europa, Afrika und im Atlantischen Ocean westlich, in Asien dagegen, im stillen Ocean und dem größten Theile von Amerika östlich; endlich giebt es Orte ohne Abweichung; diese liegen auf einer sehr unregelmäßigen Linie, die durch den östlichsten Theil von Süd- und Nord-Amerika, durch die Hudsonsbai, den Nordpol, das weiße Meer nach dem caspischen Meere und durch den Südpol der Erde geht. 2) Die Deklination ist verschieden mit den Jahren; im 16ten Jahrhunderte war sie für uns östlich, wurde gegen das Ende des 17. Jahrhunderts Null, dann westlich und beträgt jetzt für Berlin etwa 15° nach Westen, und ist bereits wieder im Abnehmen. 3) Sie ist verschieden für die Tageszeiten, aber nur wenige Minuten schwankend und periodisch; mit Sonnenaufgang bewegt sich die Nadel nach Westen, bis sie Nachmittags wieder nach Osten zurückgeht; die Nacht hindurch aber verändert sie ihre Richtung nur sehr unbedeutend. Diese Bewegung scheint mit der Erwärmung zusammenzuhängen; durch die Wärme wird nemlich die magnetische Kraft geschwächt; da nun früh die östlichen Gegenden stärker erwärmt sind, als die westlichen, so muß die Anziehung der letzteren stärker sein; Nachmittags aber kühlen sich die östlichen ab, während die westlichen sich erwärmen und somit wächst die Anziehung nach Osten.

In Hinsicht der Inklination gilt, daß in der nördlichen Halbkugel sich die Nordspitze, in der südlichen die Südspitze senkt; diejenigen Orte, an denen die Nadel genau horizontal steht, bestimmen den magne-

tischen Aequator. Derselbe schneidet den geographischen Aequator bei der Insel St. Thomas im Busen von Guinea, ferner im stillen Ocean in der Nähe der Gilberts- (Mulgraves) Inseln, geht durch die Südspitze von Arabien, von Vorder- und Hinterindien, ferner durch Südamerika in einer südlichen Breite von 11—14°. Auch die Inklination ändert sich mit den Jahren. Diejenigen Orte, an denen die Nadel senkrecht steht, heißen die magnetischen Pole; es giebt deren zwei, einen Nordpol, etwas nordwestlich von der Hudsonsbai, 1831 von Capitain Roß aufgefunden, und einen Südpol, etwa 30° südlich von Van Diemensland, dem sich Capitain Roß 1841 sehr genähert hat. Doch ist auch ihre Lage in der Reihe der Jahre einer Aenderung unterworfen.

Gesch. Bem. Die anziehende Kraft des Magneten ist schon den Alten bekannt gewesen und hat ihre Bewunderung erregt; sie benutzten natürliche Magnete, die zuerst bei Magnesia in Lydien gefunden wurden, woher sich der Name des Magnetismus schreibt. Man kannte die Anziehung des Eisens, die Versuche für die Vertheilung im weichen Eisen und die andauernde Wirkung im Stahle. Aber man fabelte zugleich von vielen andern wunderbaren Erscheinungen und war weit von den eigentlichen Gesetzen entfernt. Dieselben sind zuerst von Gilbert, einem Leibarzt der Königin Elisabeth von England, theils aufgefunden, theils wissenschaftlich zusammengestellt und durch eine Reihe der wichtigsten Versuche in einem hochberühmten Werke (Vom Magneten. 1600. Er selbst starb 1603.) nachgewiesen worden. Auch war ihm die Bereitung künstlicher Magnete bekannt; doch sind die zweckmäßigsten Methoden, ohne Anwendung eines Magneten Stahlstäbe magnetisch zu machen, indem man sie in passender Aufstellung der Einwirkung des Erdmagnetismus unterwarf und mit andern Stäben weichen Eisens bestrich, erst 1550 von Le Maire und Canton, und gleichzeitig von Michell und Duhamel entdeckt und bekannt gemacht worden, während vorher Dr. Knight in England, der sich sehr starke künstliche Magnete zu bereiten wußte, sein Verfahren geheim gehalten hatte. — Alle auf dem Erdmagnetismus beruhenden Erscheinungen waren den Alten unbekannt; nur die Chinesen haben schon 1000 Jahre v. Chr. magnetische Wagen, auf denen der bewegliche Arm einer menschlichen Figur unausgesetzt nach Süden wies, benutzt, um den Landweg durch die Grasebenen der Tartarei zu finden, und ebenso haben sie 300 Jahre v. Chr. das indische Meer mit Hülfe der Magnetnadel befahren. In Europa ist die Kenntniß dieser Eigenschaft des Magneten erst im 12. Jahrhundert nachweisbar und auf Meeren benutzt worden. Dabei hat man denn auch die Deklination und später auf den Reisen auch die Verschiedenheit derselben für verschiedene Orte kennen gelernt, wie es namentlich bekannt ist, daß Columbus in der Nähe der Azoren eine Linie ohne Abweichung fand. Die Inklination ist schon 1543 einem Nürnberger Vicar G. Hartmann bekannt gewesen, welcher auch das Polaritätsgesetz entdeckt zu haben scheint. Diese Erscheinungen aber der Erde selbst zuzuschreiben, ist ebenfalls das Verdienst Gilbert's, der sogar die Bewegung des Mondes aus der Wirkung des Magnetismus herleitete. Die Gesetze des Erdmagnetismus sind durch eben so schwierige, als scharfsinnige Berechnungen, zugleich aber auch durch die sehr zahlreichen Beobachtungen, die seit 1828, namentlich auf Veranlassung Alexander v. Humboldt's (Gesch. Bem. zu § 66.) über die ganze Erde angestellt werden, untersucht worden. Besondere Verdienste um dieselben haben sich erworben Halley (geb. 1656 in London, gest. 1742, am meisten bekannt durch den Kometen, der der Halley'sche heißt, weil Halley, gestützt auf sehr genaue Berechnungen und Vergleichungen, seine Wiederkehr vorhergesagt hatte, was bis dahin für keinen Kometen geschehen war), der von 1698 bis 1702 mehrere große Seereisen machte, um die Deklination an verschiedenen Orten der

Erde zu beobachten, in neuerer Zeit der Prof. Hansteen in Christiania, und neuestens vereint Wilhelm Weber (Gesch. Bem. zu § 77.) und Gauß (geb. 1777 zu Braunschweig, gest. 1855 in Göttingen, wo er seit 1807 als Professor lebte, der größte Mathematiker unserer Zeit, aber auf gleiche Weise hoch verdient um Astronomie und Physik, deren Gesetze er eben so sehr durch die schwierigsten mathematischen Berechnungen, als durch die scharfsinnigsten Beobachtungen zu ergründen versuchte). Beide haben bei dieser Gelegenheit die ganze Theorie des Magnetismus, deren mathematische Grundlage Coulomb (Gesch. Bem. zu § 60.) gegeben hatte, einer durchgreifenden Revision unterworfen und in dieselbe größere Klarheit und Schärfe gebracht.

Dritter Abschnitt.

Elektrische Erscheinungen.

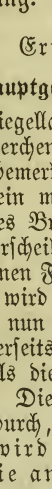
Erste Abtheilung. Elektricität durch Reibung.

Erstes Kapitel.

§ 56. Die Hauptgesetze der Reibungselektricität.

Reibt man eine Siegellackstange mit einem wollenen Lappen, so zieht dieselbe leichte Körperchen, Staub, Haare, Papierschnitzel, Eisenfeile ꝛc. an. Dasselbe bemerkt man, wenn man eine Glasstange mit einem seidenen, Bernstein mit einem wollenen Lappen, auch selbst ei- en Streifen erwärmtes Briefpapier mit Gummi reibt ꝛc. Nähert

Fig. 104.



man ein Papierscheibchen (Fig. 104.), welches man an einem trockenen, seidenen Faden ab aufgehängt hat, dem geriebenen Siegellack, so wird es angezogen, aber auch sogleich abgestoßen, und ist nun im Stande, ein andres ähnliches Papierscheibchen seinerseits anzuziehen. Diese Erscheinungen betrachtet man als die Wirkungen einer Kraft, die man Elektricität nennt. Dieselbe unterscheidet sich von dem Magnetismus 1) dadurch, daß sie erst durch Reibung hervorgerufen wird, 2) daß sie auf alle Körper wirkt, 3) daß sie die angezogenen Körper wieder abstößt. — Aus dem letzteren Versuche ersieht man zugleich, daß Elektricität aus der Siegellackstange in das Papier übergegangen ist, ferner, daß die beiden elektrischen Körper einander abstoßen. — Hält man dagegen ein gleiches Papierscheibchen an einem feuchten Zwirnsfaden ac und verfährt auf gleiche Weise, wie vorher, so wird dasselbe zwar angezogen, aber nicht abgestoßen und zeigt auch selbst keine Elektricität. Daß der leinene und der seidene Faden die Ursache der verschiedenen Erscheinungen sein müsse, ist klar; man könnte meinen, der leinene hindere eine Mittheilung der Elektricität, wie sie in dem ersten Falle Statt gefunden zu haben scheine. Hängen wir aber zwei Scheibchen an einander, indem wir beide durch einen Zwirnsfaden verbinden, das obere aber an einem seidenen auf-

hängen, bac, so zeigen sich, wenn ein Scheibchen a oder c von der Siegellackstange berührt ist, beide elektrisch; halte ich dagegen c in der Hand, so daß die beiden unteren b und a durch einen seidenen Faden verbunden sind, so ist nur das Scheibchen b, nachdem es berührt ist, elektrisch. Daraus ergiebt sich, der leinene Faden leitet die Elektricität sogleich fort, der seidene dagegen nicht. Körper nun, die sich verhalten, wie der leinene Faden, nennt man Leiter der Elektricität, dies sind also solche Körper, auf deren Oberfläche sich die Elektricität augenblicklich von Theilchen zu Theilchen fortpflanzt; von ihnen gilt 1) daß Elektricität, die ihnen an einem Punkte mitgetheilt wird, sich sogleich über ihre ganze Oberfläche verbreitet, 2) daß, wenn ihnen Elektricität an einem Punkte entzogen wird, sie der ganzen Oberfläche entzogen wird. Zu ihnen rechnet man die Metalle, Hanf, Leinen, den thierischen Körper, die meisten Flüssigkeiten, daher auch feuchte Luft, feuchte Erde. Bei den Nichtleitern findet eine solche Fortpflanzung nicht Statt; daraus folgt: 1) sie behalten die Elektricität an dem Punkte, an welchem sie ihnen mitgetheilt wird, 2) sie verlieren die Elektricität nur an dem Punkte, an welchem sie ihnen entzogen wird. Daher dienen sie besonders dazu, Elektricität 1) von anderen Körpern abzuhalten, 2) in anderen Körpern zusammenzuhalten. Beides begreift man unter dem Namen des Isolirens. Zugleich ergiebt sich, daß auch die Nichtleiter am geeignetsten zur Erzeugung der Elektricität sein werden, indem die durch Reibung erzeugte Elektricität nicht sogleich abgegeben wird. Zu den Nichtleitern gehören trockenes Holz, trockene Luft, Seide, Glas, Harz, Haare.

Wir haben bereits oben bemerkt, und in den folgenden Versuchen bestätigt gefunden, daß ein Körper, dem ein anderer Elektricität mitgetheilt hatte, von demselben abgestoßen wurde. Um dies genauer zu untersuchen, bringen wir 1) zwei durch Siegellack elektrisirte Scheibchen einander nahe, 2) dieselben Scheibchen, nachdem wir beide durch eine geriebene Glasstange elektrisirt hatten; in beiden Fällen werden sie von einander fliehen; 3) endlich elektrisiren wir ein Scheibchen mit dem Siegellak, das andere mit der Glasstange, und bemerken bei der Näherung eine lebhafte Anziehung. Daraus ergiebt sich 1) es giebt zwei Arten von Elektricität, die eine zeigt das mit Seide geriebene Glas, die andre das mit Wolle geriebene Siegellack. (Glas- und Harz-Elektricität oder positive und negative Elektricität); 2) gleichartige Elektricitäten stoßen sich ab, ungleichartige ziehen sich an. (Gesetz der Polarität.)

Anm. Hieraus ergiebt sich eine sehr einfache Vorrichtung, um zu erkennen, was für Elektricität ein Körper hat. Man elektrisirt eine Hollundermarkkugel oder ein Papierscheibchen, das an einem seidenen Faden aufgehängt ist, mit einer Siegellackstange. Zieht nun ein genäherter elektrischer Körper das Scheibchen an, so wird er positive, stößt er es ab, negative Elektricität haben. (Einfaches Fadenelektrometer.) — Aus dem oben gefundenen Verhalten gleichartiger Elektricität ergiebt sich auch, daß die Elektricität eines Körpers zu entweichen strebt, und daher a) sich nur auf der Oberfläche desselben befindet, b) vorzugsweise zu den

Spitzen eines Körpers ausströmt und daher am leichtesten in demselben erhalten wird, wenn der Körper kugelförmig oder wenigstens rund ist.

Gesch. Bem. Die anziehende Wirkung geriebenen Bernsteins (der bei den Griechen Elektron hieß) war auch den Alten bekannt; aber erst Gilbert machte auf die oben angeführten Unterschiede zwischen Elektricität und Magnetismus, namentlich auf die Nothwendigkeit des Reibens zur Erregung der Elektricität in dem oben (§ 55. Gesch. Bem.) erwähnten Werke aufmerksam und führte zuerst den Namen der Elektricität ein. Guerike (§ 34. Gesch. Bem.) hatte auch viele elektrische Versuche gemacht und dabei beobachtet, daß eine mit der Hand geriebene Schwefelkugel eine Feder nicht blos anzog, sondern nachher wieder abstieß. Boyle (a. a. O.) hatte bemerkt, daß eine angezogene Feder, die hängen blieb, selbst elektrisch geworden war. Später 1729 fand Gray, daß die Elektricität sich auch durch andere Körper fortleiten lasse, und als er an die geriebene Glasröhre vermittelst langer Schnüre eine elfenbeinerne Kugel von einem Balkon herab hängte, zog auch die Kugel Federn an. Die Wirkung verschwand jedoch, als er einst in der Stube die lange Schnur durch eine Schleife von Bindfaden, der von der Decke herabhing, zog oder an einem Draht befestigte, zeigte sich aber, als er eine seidene Schleife anwendete. In jenen beiden Fällen wurde nemlich die Elektricität zur Seite abgeleitet. So entdeckte er den Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern und die Möglichkeit der Isolirung. Bald nachher 1733 erkannte Dufay zunächst, daß ein elektrischer Körper einen nicht elektrischen anziehe, ihn dabei elektrisch mache und dann abstoße, ferner die Existenz zweier Elektricitäten und das Gesetz der Polarität, das eigentliche Grundgesetz aller elektrischen Erscheinungen.

§ 57. Die Elektrisirmaschine.

Bis jetzt haben wir nur schwache Wirkungen der Elektricität beobachtet; größere erlangt man vermittelst der Elektrisirmaschine (Fig. 105.). Die Haupttheile derselben sind: 1) eine gläserne Scheibe S (oder ein gläserner Cylinder), durch eine Kurbel drehbar, zum Theil mit seidenen Lappen L bedeckt, 2) das Reibzeug R, zwei lederne Kissen, mit einem Queckſilberamalgam bestrichen, welche die Scheibe an einer bestimmten Stelle von beiden Seiten einfassen, so daß die Scheibe bei der Drehung sich an denselben reibt; es steht auf einem gläsernen Fuße; 3) der Conduktor C, eine große Kugel (oder Cylinder)

Fig. 105.

von Metall auf gläsernem Fuße, mit einem gabelförmigen Ausläufer, dem Sauger s, die Scheibe einschließend, ohne sie zu berühren, nach der anderen Seite zu durch einen schmalen Cylinder in eine kleinere Kugel ausgehend. Um nun Elektricität hervorzubringen, setzt man das Reibzeug durch eine metallene Kette mit dem Erdboden in Verbindung und dreht die Scheibe, welche durch Reibung am Reibzeuge elektrisch wird. Die Elektricität wird durch die Sauger in den Conduktor aufgesogen und hier angesammelt; die Glasfüße hindern das Entweichen der Elektricität; zu gleichem Zwecke dienen die seidenen Lappen, welche die Elektricität in der Scheibe zusammenhalten, bis sie von den Saugern aufgenommen wird, ferner die kugelförmige oder runde Gestalt des Conduktors. — Wird nun vermittelst der Elektrisirmaschine Elektricität erregt, so bemerkt man zunächst folgende Erscheinungen: 1) es entsteht ein eigenthümlicher Geruch*); 2) ist es nicht zu hell, so bemerkt man ein Ueberströmen eines bläulichen Lichtes von der Scheibe nach den Saugern des Conduktors; 3) in dem man Gesicht oder Hand der Scheibe nähert, empfindet man ein Gefühl, als wenn man in Spinnweben griffe; 4) die Haare werden bei der Näherung an die Scheibe angezogen und sträuben sich; 5) nähert man den Knöchel des Fingers dem Conduktor, so springt ein Funken über, man hört zugleich ein Knistern und empfindet ein Zucken in dem Finger. — Ebenso können wir die früher aufgestellten Gesetze vielfach bestätigt finden und vervollständigen. Nähert man ein an einem Seidenfaden aufgehängtes Korkkügelchen der Scheibe, oder dem Conduktor, oder dem Reibzeuge, wobei man die Kette von dem Reibzeuge abnehmen muß, so wird es angezogen, dann abgestoßen; alle drei zeigen sich also elektrisch. Nähert man es aber nach einander der Scheibe, dem Conduktor und zuletzt dem Reibzeuge, so wird es von der ersteren angezogen, dann abgestoßen, hierauf von dem Conduktor ebenfalls abgestoßen, dagegen von dem Reibzeuge angezogen. Es ist also sichtbar, daß die beiden ersten Theile dieselbe Elektricität haben, das Reibzeug dagegen die entgegengesetzte. Es gilt als Gesetz, daß die beiden gegen einander geriebenen Körper nach der Reibung entgegengesetzte Elektricität zeigen. Nähert man der Scheibe die Knöchel des Fingers an verschiedenen Stellen, so bemerkt man ein Knistern, indem man jeder einzelnen Stelle ihre Elektricität entzieht; verfährt man dagegen auf gleiche Weise mit dem Conduktor, so giebt derselbe seine gesammte Elektricität auf einmal ab, und zeigt bei einer zweiten Berührung nur noch einen kleinen Rückstand. Dies ergiebt sich leicht aus der Natur der Leiter und Nichtleiter. Schraubt man an den Conduktor eine Spitze, so läßt sich die Strömung der Luft, die von der Spitze fortgeblasen wird, an einer Lichtflamme nachweisen. Steckt man auf einen mit dem Conduktor leitend verbundenen Stift ein Sförmiges Messingstück, welches um jene Spitze als Achse leicht drehbar ist, so dreht sich dasselbe gegen die Richtung seiner Spitzen, so-

*) Derselbe rührt von einem 1844 von Schönbein in Basel entdeckten Stoffe Ozon her.

lange die Scheibe gedreht wird. Die in die Luft aus der Spitze ausströmende Elektricität stößt nemlich die gleichartige in der Spitze ab.

Gesch. Bem. Die Elektrisirmaschine hat ihre einzelnen Theile erst nach und nach erhalten. Guerike (§ 56.) drehte eine Schwefelkugel an der Drechslerbank und hielt die Hand dagegen; Hawksbee, der bei seinen zahlreichen elektrischen Versuchen besonders die schon von Guerike wahrgenommenen Lichterscheinungen beobachtete (1709), drehte eine Glaskugel mittelst einer Schnur und eines Rades herum; Gray rieb die Glasröhre in der Hand, und pflanzte die Elektricität durch Leiter fort. Hausen, Professor in Leipzig, stellte zuerst 1743 eine eigentliche Maschine zusammen, deren Glaskugel durch ein Rad gedreht wurde. Der Drechsler Gießing daselbst brachte 1744 an einer Elektrisirmaschine für den Prof. Winkler das Reibzeug an, welches aber erst später in allgemeine Aufnahme gekommen ist. Als Conduktor diente eine blecherne Röhre, die ursprünglich von einem auf einem Pechkuchen stehenden Menschen gehalten, dann in seidenen Schnüren aufgehängt und erst viel später auf gläserne Füße gestellt wurde.

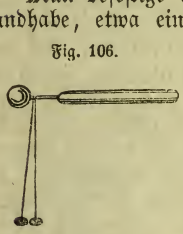
Zweites Kapitel.

Instrumente, die auf der Vertheilung der Elektricität beruhen.

§ 58. Die Vertheilung der Elektricität.

Man befestige eine Metallkugel (Fig. 106.) an einer isolirenden Handhabe, etwa einer Siegellackstange, und hänge über die Kugel einen feuchten Zwirnsfaden, an dessen Enden sich zwei Papierscheibchen befinden. (Doppeltes Fadenelektrometer.) Hiermit mache man folgende Versuche. 1) Man nähere eine geriebene Siegellackstange der Metallkugel von oben, so gehen die Scheibchen aus einander und fliehen vor einer anderen geriebenen Siegellackstange, die ihnen genähert wird; sie haben also negative Elektricität. 2) Entfernt man das Siegellack, so fallen sie wieder zusammen. 3) Berührt man die Scheibchen mit der Hand, während das Siegellack genähert ist, so fallen sie zusammen. 4) Wird jetzt der elektrische Körper entfernt, so gehen sie aus einander und fliehen vor einer geriebenen Glasstange, zeigen also positive Elektricität. 5) Berührt man den Metallknopf mit dem Siegellack, so bleiben die Scheibchen getrennt, auch nach der Entfernung des Siegellacks. — Diese Versuche lassen uns ganz neue Eigenschaften der Elektricität erkennen. Zuerst bemerken wir, die Scheibchen zeigten sich schon elektrisch, ehe noch Berührung Statt gefunden hatte. Der elektrische Körper wirkt also nicht blos durch Mittheilung bei der Berührung, sondern auch in der Entfernung. Zugleich lehrte der 2. Versuch, es sei dem Körper auch wirklich keine Elektricität mitgetheilt worden; er zeigte sich nur so lange elektrisch, als ihm der elektrische Körper genähert wurde. Andrerseits zeigte sich in dem 3. und 4. Versuche einmal, daß er bei der Annäherung des elektrischen Körpers wirklich Elektrici-

Fig. 106.

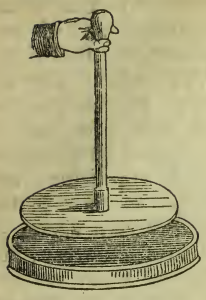


tät gehabt habe, die ihm weggenommen werden konnte, dann daß ihm noch Elektricität geblieben war, die, da sie positiv war, unmöglich aus dem Siegellack hergekommen sein konnte. So sehen wir, in dem Körper selbst waren beide Elektricitäten; aber indem beide vereinigt waren, konnte sich keine derselben wirksam zeigen, man sagt, sie banden sich gegenseitig oder waren in gebundenem Zustande. Wird nun aber ein elektrischer Körper, z. B. die geriebene Siegellackstange, in seine Nähe gebracht, so zieht derselbe die entgegengesetzte Elektricität an und bindet sie; dadurch wird die gleichartige Elektricität, hier die negative, frei und kann sich wirksam zeigen, daher gingen die Scheibchen in V. 1. mit negativer Elektricität aus einander. Entfernte man in V. 2. den elektrischen Körper wieder, so banden sich die positive und negative Elektricität wieder und die Scheibchen zeigten sich unelektrisch. Nahm man dagegen in V. 3. die negative Elektricität fort, so fielen natürlich die Scheibchen zusammen; entfernte man hierauf in V. 4. das Siegellack, so mußte die positive Elektricität, welche bisher von der negativen des Siegellacks gebunden war, wieder frei werden. Daraus ergeben sich also noch folgende Gesetze: In jedem Körper sind beide Elektricitäten vorhanden; aber sie binden sich gegenseitig und äußern daher keine Wirkung. — Wird ein elektrischer Körper einem unelektrischen Körper genähert, so vertheilt er die Elektricität des letzteren, d. h. er zieht die entgegengesetzte an und bindet sie, wodurch die gleichartige frei wird. (Vertheilung der Elektricität.) — Jetzt wird man übrigens leicht einsehen, daß auch in dem Versuche 5., also bei einer sogenannten Mittheilung, in Wahrheit keine Mittheilung erfolgt ist; es ist nemlich auch hier eine Vertheilung vorhergegangen und im Augenblicke der Berührung haben sich nur die negative Elektricität des Siegellacks und die dadurch angezogene positive des Knopfes vereinigt; dadurch ist die negative frei geblieben, ebenso wie es in V. 3. und 4. die positive blieb, nachdem vorher die negative entfernt worden war. So findet also auch bei der Mittheilung, und ebenso beim Ueberschlagen eines Funkens kein einseitiger Uebergang der Elektricität vom elektrischen Körper zum unelektrischen Statt, sondern die negative Elektricität geht vom Siegellack zum Knopfe und die positive vom Knopfe zum Siegellack, und die Vereinigung beider giebt sich durch den Funken kund. Zugleich ersieht man, daß in der That eine Anziehung nur zwischen zwei elektrischen Körpern Statt findet, indem der elektrische in dem andern durch Vertheilung die entgegengesetzte Elektricität hervorruft.

§ 59. Der Elektrophor und die Leydener Flasche.

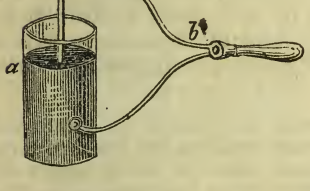
Nachdem in dem vorigen Paragraphen eine genauere Einsicht in den eigentlichen Vorgang bei den elektrischen Erscheinungen erlangt ist, wird man im Stande sein, mehrere Apparate zu verstehen, deren Wirkung auf der Vertheilung der Elektricität beruht. Zunächst der Elektrophor (Fig. 107.). Dies ist ein Harzkuchen in einer leitenden Form, die gewöhnlich von Blech ist, auf den ein durch Seidenfäden oder einen Glasstab isolirter Deckel, gewöhnlich aus Holz mit Zinn-

Fig. 107.



folie überklebt, paßt. Eine gute Mischung für den Kuchen besteht aus 8 Theilen Colophonium, 1 Th. Schellack und 1 Th. venetianischem Terpentin. Man erregt zunächst durch Reiben mit einem Fuchsschwanz oder einem Flanelllappen in dem Kuchen negative Elektricität. Dann macht man folgende Versuche: 1) Setzt man den Deckel auf und hebt ihn an den seidenen Schnüren in die Höhe, ohne ihn berührt zu haben, so zeigt er keine Elektricität. Man sieht, *selbst ein Leiter, der in einer glatten Fläche einen elektrischen Nichtleiter berührt, bleibt unelektrisch.* 2) Setzt man den Deckel auf und berührt ihn, so erhält man negative Elektricität; hebt man hierauf den Deckel an dem Glasstabe oder den Schnüren auf und berührt ihn nun, so erhält man positive Elektricität. Dieser zweite Versuch entspricht ganz dem dritten und vierten Versuche, der erste dem zweiten Versuche des vorigen Paragraphen. Der Elektrophor wird als Elektricitätsquelle benutzt und kann so die Stelle einer Elektrisirmaschine vertreten. Zugleich ist zu bemerken, daß der Kuchen, da er nur vertheilend auf den Deckel wirkt, selbst *fortwährend elektrisch* bleibt. Daher hat er seinen Namen: *Elektricitätsträger.*

Fig. 108.



Ein wichtigerer Apparat ist die bekannte *Leydener* oder *Kleistsche Flasche* (Fig. 108.). Ein Bierglas **a** ist in- und auswendig mit Stanniol so überzogen, daß der obere Rand mehrere Zoll breit in- und auswendig frei bleibt oder mit isolirendem Schellack bedeckt ist. Mit der inneren Belegung steht ein in einen Knopf endigender Draht oder Metallstab in Verbindung. Man bemerkt nun Folgendes: 1) Stellt man die Flasche auf eine Glas- oder Harzplatte, während man der inneren Belegung durch den Knopf aus einer Elektrisirmaschine oder mittelst eines Elektrophors Elektricität zuleitet, so kann man, so oft ein Funken nach dem Knopfe überspringt, auch der äußeren Belegung einen Funken gleichartiger Elektricität entziehen. 2) Hierauf zeigt die äußere Belegung keine Elektricität mehr; berührt man die innere Belegung, so erhält man etwas Elektricität und ist nun im Stande, auch der äußeren Belegung etwas Elektricität zu entziehen, aber die entgegengesetzte. Dies kann man durch abwechselnde Berührung des Knopfes und der äußeren Belegung eine Weile fortsetzen. 3) Wird dem Knopfe der Flasche Elektricität zugeleitet, ohne daß die Flasche isolirt war, und hält man dann die äußere Belegung mit der einen Hand, während man mit dem Knöchel der anderen Hand den Knopf berührt, so erhält man unter

Funken und Knall einen heftigen Schlag. Dasselbe würde geschehen, wenn man nach dem ersten Versuch beide Belegungen in Verbindung brächte. Die Erklärung des ersten und dritten Versuches ist nach dem Vorigen leicht. Die der inneren Belegung mitgetheilte Elektricität wirkt durch das Glas hindurch vertheilend auf die äußere, zieht die entgegengesetzte an und macht daher die gleichartige frei, die also entweder, wie in V. 1., durch Berührung entzogen wird oder, wie in V. 3., ohne weiteres in die Erde entweicht. Die beiden Elektricitäten in der inneren und äußeren Belegung binden sich gegenseitig, und darum ist es möglich, so große Elektricitätsmengen in einer Flasche anzusammeln, da dieselben nicht, wie sonst, das Bestreben haben, zu entweichen; dagegen haben sie ein um so lebhafteres Bestreben, sich zu verbinden (Spannung). Sobald also durch einen Leiter zwischen beiden diese Möglichkeit dargeboten ist, geschieht diese Verbindung mit Heftigkeit. Schwieriger ist die Erklärung des zweiten Versuches. Man begreift leicht, daß ein elektrischer Körper desto weniger auf einen andern wirkt, je weiter er von demselben entfernt ist. Da nun die Elektricität der inneren Belegung von der äußeren durch das Glas getrennt ist, so kann sie nur eine Elektricitätsmenge der äußeren Belegung binden, die geringer als sie selbst ist. Da sie aber zugleich allein die Elektricität der äußeren Belegung durch Vertheilung hervorruft, so ist die der inneren größer, als die der äußeren. Um so weniger ist also die äußere Elektricität im Stande, die ganze innere zu binden. Daher wird zwar die äußere Elektricität ganz durch die innere gebunden, auf der inneren Belegung dagegen befindet sich etwas freie Elektricität, und so erhält man bei der Berührung des Knopfes etwas Elektricität. Indem hierdurch die Menge der inneren Elektricität, die gerade nur hinreichte, die Elektricität der äußeren Belegung zu binden, vermindert worden ist, wird etwas Elektricität der äußeren Belegung frei und kann also ebenfalls abgenommen werden. Es ist aber klar, daß diese Elektricität der ursprünglich zugeführten entgegengesetzt sein muß.

Anm. Auf demselben Principe beruht die Franklin'sche Tafel, eine Glasplatte auf einem Gestell, die auf beiden Seiten so mit Stanniol belegt ist, daß ringsherum ein mehrere Zoll breiter Rand frei bleibt. Dann lassen sich an derselben die eben an der Leydener Flasche beschriebenen Versuche mit leicht ersichtlicher Veränderung ebenfalls anstellen.

§ 60. Versuche mit der Leydener Flasche.

Auf die unter Versuch 3. des vorigen Paragraphen angegebene Weise ist man im Stande, die stärksten Wirkungen dieser Art der Elektricität hervorzubringen. Ehe wir einige der wichtigsten anführen, müssen wir noch eines dabei benutzten Instrumentes, des Ausladers b (in Fig. 108.) erwähnen. Derselbe besteht aus zwei gebogenen, in einem Charnier beweglichen Metallstäben, die in Metallknöpfe endigen. An dem Charnier befindet sich der Sicherheit wegen gewöhnlich eine isolirende Handhabe. Bei der Benutzung berührt man

mit dem einen Knopfe den Körper, durch den der Schlag geleitet werden soll und der wiederum mit der einen Belegung in leitender Verbindung stehen muß, mit dem anderen die andere Belegung. Statt dieses Ausladers genügt für die kleineren Versuche auch schon ein beliebiger, nicht zu dünner Metalldraht, den man unbeschadet in der Mitte mit der Hand oder noch besser mit einem seidenen Lappen anfassen kann. Hat man nun die Flasche geladen und umwickelt den einen Knopf des Ausladers mit Baumwolle, die man mit Colophonium bestreut, und entladet die Flasche, so wird sich die Baumwolle durch den elektrischen Funken entzünden; dasselbe geschieht, wenn man die Elektricität durch einen Löffel mit erwärmtem Spiritus schlagen läßt. Hält man ein Kartenblatt vor den Knopf der Flasche und läßt den Funken mittelst des Ausladers durch das Papier schlagen, so wird dasselbe durchlöchert, und zwar ist das Blatt an beiden Seiten aufgeschlagen, zum deutlichen Beweis, daß die Elektricität von beiden Seiten durchgegangen ist. Die Erschütterung, welche im V. 3. des vorigen § nur eine Person erfuhr, kann beliebig vielen mitgetheilt werden, ohne merklich verminderte Stärke und mit unmeßbarer Geschwindigkeit*), wenn sich alle die Hände reichen und die eine äußerste Person die äußere, die andere den Knopf der inneren Belegung berührt. — Aus diesen Versuchen ersehen wir, daß *leicht brennbare Substanzen durch den elektrischen Funken entzündet, Halbleiter durchbohrt werden*, ferner, daß *die Elektricität den besseren Leiter, wenn er auch der längere ist, vorzieht*. — Die Wirkungen der Flasche können sehr verstärkt werden, wenn man mehrere derselben, wie in Fig. 109., so verbindet, daß ihre äußeren und ihre inneren Belegungen durch Leiter zusammenhängen. Das Erstere geschieht gewöhnlich durch einen hölzernen Boden, der mit Stanniol beklebt ist und auf dem die Flaschen stehen, das Zweite durch Ketten, welche die Dräthe der inneren Belegungen verbinden. Die Entladung geschieht, sobald man einen Theil der äußeren Belegung mit irgend einem Knopfe in leitende Verbindung bringt. Eine solche Verbindung mehrerer Flaschen heißt eine *Batterie*. Mit derselben ist man im Stande, Thiere zu tödten, eine Glasplatte, ein Spiel Karten zu durchbohren, dünne Metalldrähte zum Glühen, ja zum Schmelzen zu bringen u. A. — Ist die Flasche oder die Batterie zu stark geladen, so ist das Bestreben beider Elektricitäten, sich

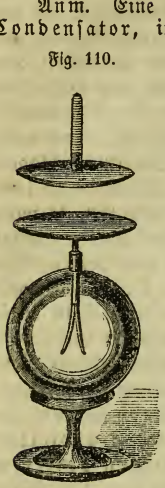
Fig. 109.

*) Die Beschreibung der zusammengesetzten Versuche, durch welche die Geschwindigkeit bestimmt worden ist, mit welcher sich die Elektricität fortpflanzt, findet sich im Anhange.

zu vereinigen, so groß, daß sie entweder über den Rand des Glases springen, oder das Glas durchbohren, wodurch dasselbe unbrauchbar wird.

Anm. Eine andere wichtige Vorrichtung, die hierher gehört, ist der Condensator, in Verbindung mit einem Elektrometer (Fig. 110.)

Fig. 110.



Zwei sehr einfache Elektrometer sind bereits oben (§ 56. und 58.) angegeben. Zu genaueren Untersuchungen bedient man sich eines Apparates, der auf denselben Principien beruht, wie das doppelte Fadenelektrometer. Eine kleine Glaskugel hat einen metallenen Deckel mit einem Metallknopfe; von der unteren Seite des Deckels, also in das Glas hinein, hangen zwei Strohhalme, Silberfaden oder, wie jetzt gewöhnlich, Goldblättchen neben einander herab. Nähert man einen elektrischen Körper dem Knopfe, so gehen die Blättchen aus einander. Will man zugleich die Art der Elektricität prüfen, so muß man vorher mit einer geriebenen Siegellackstange den Knopf berührt haben, wodurch also die Blättchen mit negativer Elektricität aus einander gegangen sind. Bringt man nun den elektrischen Körper in die Nähe, so entfernen sich die Blättchen noch mehr, wenn er negative, sie nähern sich dagegen, wenn er positive Elektricität besitzt, da in diesem Falle ein Theil der negativen gebunden wird. Ein solches Instrument heißt ein Elektrometer. Schraubt man nun auf den Deckel statt des Knopfes einen metallenen Teller, der mit einer dünnen isolirenden Firnißschicht überzogen ist, und setzt eine dem Teller gleiche Metallplatte mit isolirender Handhabe auf denselben, so hat man einen Condensator, bestimmt, auch die kleinsten Mengen von Elektricität anzuhäufen und so ihre Existenz zu entdecken und sie selbst zu prüfen. Zu diesem Zwecke bringt man die obere oder untere Platte mit der Erde in Verbindung, indem man etwa den Finger daran hält, und führt den zu prüfenden Körper der anderen Platte so oft hinzu, bis man eine Wirkung erwarten kann. Hebt man dann die Leitung nach der Erde auf, und nimmt den Deckel an der Handhabe ab, so werden die Goldblättchen aus einander gehen, es erfolgt, wie man zu sagen pflegt, ein Ausschlag. Die der einen Platte mitgetheilte Elektricität bindet die entgegengesetzte der anderen Platte, die gleichartige wird frei und entweicht zunächst in die Erde; die Firnißschicht hindert eine Vereinigung; indem aber ein Binden Statt findet, kann keine Elektricität entweichen, dagegen neue zugeführt werden. Ist dann die Verbindung mit der Erde aufgehoben, so wird nach dem Abheben der oberen Platte die der unteren frei und übt ihre Wirkung aus.

Gesch. Bem. Die Wirkung der Kleistschen oder Leydener Flasche ist fast gleichzeitig am Ende 1745 von dem Dombechant v. Kleist zu Camin in Pommern und von einem Privatmanne Cunäus in Leyden entdeckt worden. Dieser lud ein mit Wasser gefülltes Medicinglas mittelst eines hineingehängten Drahtes mit Elektricität. Als er diesen einst abnahm, während er das Glas in der andern Hand hielt, bekam er unerwartet den erschütternden Schlag. Aehnliches war Kleist begegnet. Ueberall wiederholte man die Versuche; Gralath in Danzig vereinigte zuerst mehrere Flaschen zu einer Batterie. Winkler (§ 57.) stellte sie in die Pleiße und leitete die Elektricität durch dieselbe in einen 30 Ellen davon entfernten Draht; die überschlagenden Funken waren bei Tage auf 200 Schritt sichtbar. Nol-

let führte die Elektricität in Gegenwart des Königs von Frankreich durch 180 Gardisten. In einer großen Anzahl von Versuchen überzeugte sich der englische Physiker Watson, daß der elektrische Schlag auch auf einem Wege von 12000 F. in einem Augenblicke erfolge. Die Erklärung des Hergangs wurde zuerst von Franklin (G. B. zu § 62.) 1747 gegeben; indem er aus einer gläsernen Flasche behutsam erst den Knopf, dann das Wasser herausnahm, die sich beide nicht elektrisch zeigten, während die Flasche geladen blieb, wies er nach, daß das Glas der eigentliche Sitz der Elektricität sei und die Belegungen nur, wie die Panzer eines Magneten, dazu dienten, die elektrischen Kräfte aus allen Theilen des Glases zu sammeln. — Das Gesetz der elektrischen Vertheilung ist von den gelehrten deutschen Physikern Wilke und Aepinus (der erstere lebte in Schweden, der andere in Rußland) aufgestellt und durch vielfache Versuche bestätigt worden. Indem Aepinus den Gegenstand der mathematischen Rechnung unterwarf, that er den ersten Schritt zu einer eigentlichen Theorie der Elektricität; doch wurde dieselbe erst durch die Untersuchungen Coulombs, die sich ebensowohl durch die mathematische Entwickelung, als durch scharfsinnig angestellte Versuche auszeichneten, fest begründet. Dieser, geb. 1736, gest. 1806, war einer der ausgezeichnetsten Physiker Frankreichs, zugleich durch seine Charakterfestigkeit der höchsten Achtung werth. — Wilke hat bei seinen Versuchen auch die Belegungen von der Glastafel getrennt und so den Grund zu dem Elektrophor gelegt; die eigentliche Einrichtung und Benutzung desselben als Elektricitätsquelle stammt aber von Volta 1775 (G. B. zu § 64.). Die Erklärung des Herganges wurde vollständig von Wilke gegeben. Auch den Condensator hat Volta 1782 zuerst angegeben und ihn zur Prüfung kleiner Elektricitätsmengen benutzt.

Drittes Kapitel.

Die Luftelektricität und das Gewitter.

§ 61.

Bisher haben wir die Wirkungen der Elektricität nur in künstlichen Versuchen beobachtet. Sie zeigt sich aber auch in der freien Natur, am mächtigsten im Gewitter, zu dessen Betrachtung wir jetzt kommen. Zunächst ist gewiß, daß die Luft fortwährend Elektricität enthält, wenn auch zu den verschiedenen Zeiten in sehr verschiedenem Grade. Dieselbe ist gewöhnlich, und bei heiterem Himmel immer positiv und nimmt nach oben an Stärke zu; sie zeigt sich besonders bei Nebeln, ist dagegen gering bei stürmischem Wetter. Dieses erklärt sich leicht daraus, daß der Wind, welcher die Luftschichten von entgegengesetzter Elektricität vermischt, eine Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten möglich macht. Von den Gewittern selbst ist bekannt, daß sie bei uns vorzugsweise im Sommer Statt finden, dagegen im Winter selten zu sein pflegen; in der heißen Zone treten die Gewitter mit großer Regelmäßigkeit während der Regenzeit des Jahres täglich ein; in höheren Breiten nimmt dagegen die Anzahl der Gewitter überhaupt sehr ab. Dem Ausbruche desselben geht oft mehrere Tage lang große Wärme, Windstille, Schwüle und weißliches Aussehen des Himmels vorher. Endlich bilden sich bei heiterem Himmel sehr schnell dunkle Wolken, es tritt ein heftiger Wind ein. Das

eigentliche Gewitter giebt sich durch einen sehr reichlich strömenden, stark elektrischen, oft sehr großtropfigen Regen, durch Blitz und Donner kund. Diese Erscheinungen, die allerdings zum Theil erst später (§ 108.) ihre Erklärung finden können, lassen sich zunächst darauf zurückführen, daß ein Gewitter entste, wenn sich plötzlich der in der Luft enthaltene durchsichtige Wasserdampf in Wasser verwandelt. Dadurch entsteht nemlich eine plötzliche Anhäufung der Elektricität auf einen engeren Raum, die mit Gewalt nach einer Ausgleichung strebt. Damit nun eine solche schnelle Wolkenbildung, die die Hauptursache eines Gewitters zu sein scheint, eintrete, ist erforderlich, daß zuerst die Luft eine sehr große Menge Wasserdampf enthalte. Dieser wird aber durch große Wärme erzeugt, seine übermäßige Anhäufung durch die Windstille ermöglicht, und, wie wir später sehen werden, durch die Schwüle und das weißliche Aussehen des Himmels (§ 102. und § 89.) angekündigt. Nun bedarf es nur einer geringen Abkühlung, um jene Umwandlung des Wasserdampfes in Wolken eintreten zu lassen. Diese entsteht aber durch das plötzliche Eindringen eines kälteren Windes, und so bemerkt man in der That vor und während der Bildung eines Gewitters nicht blos auf der Erde selbst einen heftigen Sturm, sondern auch eine lebhafte Bewegung in den Wolken, ein Zeichen dort herrschender Winde. Die auf diese Weise stark angehäufte Elektricität entladet sich durch den Blitz; zugleich fällt das plötzlich gebildete Wasser aus den Wolken im Regen herab. Oft folgt einem starken Blitz ein heftigerer Regenguß. Da aber der Blitz uns augenblicklich sichtbar wird, so ist dies Folgen nur scheinbar; im Gegentheil geht der plötzliche Ausbruch des Regens dem Blitze vorher und ist die Ursache desselben. Durch den Regen und durch das Ueberschlagen mehrerer Blitze gleicht sich nach und nach die Elektricität aus. Nach einigen Gewittern findet eine wesentliche Abkühlung der Luft und Aenderung des Wetters Statt, indem die kältere Luft, welche den Eintritt des Gewitters verursachte, in der ganzen Atmosphäre Geltung gewonnen hat. Nach anderen Gewittern dagegen tritt keine Abkühlung ein, und ihnen folgen dann in den nächsten Tagen ähnliche Gewitter. Dies findet nemlich dann Statt, wenn die kältere Luft blos in der Höhe eingetreten ist.

§ 62. Fortsetzung.

Betrachten wir nun den Blitz selbst und seine Wirkungen. Er ist der elektrische Funken, durch den sich die entgegengesetzten Elektricitäten ausgleichen, und zwar findet diese Ausgleichung entweder zwischen zwei Wolken Statt, oder zwischen der elektrischen Wolke und der Erde, indem die eine Wolke vertheilend auf die Elektricität der anderen Wolke oder der Erde wirkt. Der erstere Fall ist bei weitem der häufigere. Der Blitz erscheint bisweilen als ein Zickzack mit besonders hellem Lichte, und diese Gestalt hat man auch an großen, aus einer Elektrisirmaschine gezogenen Funken beobachtet. Viel häufiger ist es dagegen, daß die ganze Wolke von dem Blitze erleuchtet als eine helle Masse erscheint, die dann noch bisweilen von einem

Blitze erster Art durchfurcht wird. Die Dauer der Blitze hat man noch nicht zu messen vermocht; doch beträgt sie jedenfalls viel weniger als $\frac{1}{1000}$ Sek. Die Länge des Blitzes ist oft außerordentlich groß, indem Blitze von der Länge einer Meile nicht selten von Bergen aus beobachtet worden sind. Doch muß man sich einen solchen Blitz nicht gerade als einen einzigen Funken vorstellen, sondern als eine unzählige Menge von Funken, die gleichzeitig von einem elektrischen Dampfbläschen zum andern überspringen. Uebrigens ist aus dem Früheren (§ 58. V. 5.) klar, daß die Ausgleichung von beiden Seiten erfolgt, daß aber jede Wirkung des Blitzes aufhört, sobald diese Ausgleichung Statt gefunden hat, also für einen zur Erde schlagenden Blitz, sobald der feuchte Erdboden oder das Wasser erreicht ist. Sind die Leiter gleich gut, so nimmt der Blitz den nächsten Weg. Sonst zieht er, wie die Elektricität überhaupt (§ 60.), den besseren Weg dem kürzeren vor, sucht also die guten Leiter auf, an denen er oft spurlos hingeht; wird aber sein Lauf an einer Stelle unterbrochen, oder auch nur z. B. durch zu dünne Metallstreifen verzögert, so zündet er brennbare Gegenstände an, andere schmelzt er, andere durchbricht und zertrümmert er mit großer Gewalt. Hierbei muß man sich erinnern, daß die Elektricität von beiden Seiten kommt, jene Wirkungen sich also an beiden Seiten der Unterbrechung zeigen werden. Zu den merkwürdigsten Schmelzungen gehören die Blitzröhren, welche sich bisweilen in sandigem Boden finden; die Elektricität hat nemlich ihren Weg bis zum feuchten Erdboden fortgesetzt, vorher aber beim Durchgange durch den schlechter leitenden Sand denselben geschmolzen. — Der Donner ist im Großen dasselbe, was das Knistern des elektrischen Funkens im Kleinen ist, und ist eine Folge der Erschütterung, welche der Blitz in den durchlaufenen Luftschichten verursacht. Schlägt der Blitz zur Erde, so hört man in unmittelbarer Nähe einen einzelnen Knall, in größerer Entfernung ein Prasseln. Schlägt der Blitz aber von einer Wolke zur andern, so hört man ein Rollen. Dies beruht auf mehreren zusammenwirkenden Umständen. Zunächst entsteht, da der Blitz einen längeren Weg durchläuft, der Donner an verschiedenen Stellen in einem Augenblicke; der Schall bedarf aber einiger Zeit, um unser Ohr zu erreichen; wir erhalten also den Schall zuerst von dem nächsten Punkte der Bahn des Blitzes, und nach und nach von den übrigen. Ferner wird uns der Schall nicht blos durch die Luft, sondern auch durch die Erde zugeführt; der Wiederhall, den der Erdboden, die Berge, Wälder, Wolken ꝛc. ausüben, trägt ebenfalls dazu bei. Dies alles wirkt, namentlich für nicht zu nahe Schläge, in gewissen Augenblicken und besonders in der Mitte zusammen, und so ist auch das Rollen des Donners absatzweise stärker und schwächer, in der Mitte am stärksten. — Obgleich ein Erschlagenwerden durch den Blitz sehr selten geschieht, so erscheint es doch nicht unnütz, einige Vorsichtsmaßregeln anzuführen. Im Freien meide man hohe Gegenstände, in den Zimmern die Wände, Fenster, Oefen, namentlich die Nähe von Metallmassen. Das Feuer zu löschen ist rathsam, da der Rauch einer der besten Leiter der Elektricität ist. Zugluft zu vermeiden ist nicht nöthig, im Gegentheil ist es unzweckmäßig, zugleich

Thüren und Fenster zu schließen, damit man nicht im Fall des Einschlagens der Erstickung ausgesetzt sei.

Das beste Mittel, die schädliche Wirkung des Blitzes zu verhindern, bietet bekanntlich der Blitzableiter. Ein starker Metallstreifen von Blei oder, wie gewöhnlich, eine eiserne Stange, mit Oelfarbe überzogen, wird den First und alle Hervorragungen des Daches entlang und von demselben an der Mauer des Hauses herabgeführt. Von ihm erheben sich nach oben senkrecht über das Dach in geeigneten Entfernungen einige starke Metallstangen, die in eine gewöhnlich vergoldete und daher dem Roste nicht unterworfene Spitze auslaufen. Unten wird die Stange in mehreren Armen bis hinein in den feuchten Erdboden geleitet. Durch diese Vorrichtung wird dem Blitze in einem zusammenhängenden guten Leiter ein für das Gebäude unschädlicher Weg gezeigt. Daher ist vor allen Dingen nothwendig, daß die Leitung nirgends unterbrochen sei. Zugleich aber dient der Blitzableiter, ähnlich einer dem Conduktor entgegengehaltenen Spitze dazu, daß die Elektricität in kleinen Quantitäten ausströmen und sich dadurch langsam ausgleichen kann. — Das Wetterleuchten scheint von einem fernen Gewitter herzurühren, dessen Blitze man sieht, ohne den Donner zu hören; vielleicht ist es auch ein allmähliches Ausströmen der Elektricität, welches keinen Donner hervorbringt.

Gesch. Bem. Schon sehr früh hatte man eine Aehnlichkeit zwischen dem Blitze und dem elektrischen Funken bemerkt. Eine ausführliche Vergleichung gab zuerst Winkler (§ 57.) 1746; mehr beachtet wurde eine ähnliche, von Franklin angestellte Vergleichung, die er 1749 bekannt machte, indem er zugleich Versuche angab, die Elektricität der Wolken zu untersuchen; diese wurden 1752 in Frankreich mittelst einer 40 Fuß langen eisernen Stange ausgeführt, die bei Näherung eines Gewitters Funken zeigte. Gleichzeitig ließ Franklin einen Drachen von Seide gegen eine Gewitterwolke aufsteigen; an den Bindfaden hatte er einen Schlüssel gebunden und erhielt aus diesem die ersten elektrischen Funken. Durch andere Versuche bemerkte er auch Elektricität in der Luft, wenn kein Gewitter am Himmel stand. Dr. Romas, der im folgenden Jahre einen Eisendraht zu besserer Leitung in den Bindfaden geflochten hatte, erhielt binnen einer Stunde an 30 Funken von 10 Fuß Länge, die stets von einem starken Knalle, gleich einem Pistolenschusse begleitet waren, unzählige kleinere ungerechnet. Als bei ähnlichen Versuchen 1753 der Prof. Richmann in Petersburg, der den Draht in seine Stube in ein Glasgefäß gezogen hatte, sich demselben zu sehr näherte, fand er seinen Tod durch einen gewaltigen, überspringenden Funken. Er ahnete bereits früher die Gefahr seiner Versuche, glaubte ihnen aber seines Amtes halber mit Muth und Unerschrockenheit entgegengehen zu müssen. — Den Gedanken eines Blitzableiters hatte Franklin schon 1749 ausgesprochen; er berücksichtigte dabei sowohl die zertheilende Kraft der Spitzen, als die ableitende Wirkung der Metallleitung. Auch wurden die Blitzableiter alsbald von seinen Landsleuten nach seiner Anweisung ausgeführt. Doch sollen die Chinesen längst im Besitze auch dieser Kenntniß gewesen und namentlich der Porzellanthurm in Nanking, sowie die Festungsthürme der chinesischen Mauern mit dergleichen Einrichtungen versehen sein.

Noch einige Worte von diesem ausgezeichneten Manne. Benjamin Franklin (geb. 1706 zu Boston in Nordamerika) erhielt wegen der Armuth seiner Eltern eine höchst ungenügende Erziehung, suchte aber diesen

Mangel durch eifrige Lektüre zu ersetzen. Er lernte die Buchdruckerei und errichtete später seine Werkstatt in Philadelphia. Durch die Herausgabe populärer Schriften, in denen er gemeinnützige Kenntnisse und die Grundsätze aller häuslichen, geselligen und öffentlichen Tugenden mit unübertrefflicher Klarheit und anspruchsloser Einfachheit entwickelte, und durch sein gemeinnütziges Wirken erwarb er sich die höchste Liebe und Achtung seiner Landsleute. Als Abgeordneter seines Volkes vertheidigte er mit großem Freimuth sowohl zu Hause, als in London die Rechte seines Vaterlandes, erwirkte später als 71jähriger Greis in Paris die Unterstützung Frankreichs und unterzeichnete 1783 den Frieden, der die Unabhängigkeit der vereinigten Staaten aussprach. Darum hieß es von ihm: „Muthig entriß er dem Himmel den Blitz, den Tyrannen das Scepter". Sein auf das Praktische gerichteter Sinn war bemüht, „die Wissenschaft zu einer nützlichen Bewohnerin unserer Häuser, zu einer treuen Gefährtin aller Menschen jedes Standes zu machen". Zugleich ruhte sein klarer Geist nie, bis er die Gründe der Erscheinungen erkannt hatte. Er starb 1790. Bekannt ist seine von ihm selbst verfertigte Grabschrift: „Hier liegt der Leib Benj. Franklins, eines Buchdruckers (gleich dem Deckel eines alten Buches, aus welchem der Inhalt herausgenommen, und der seiner Inschrift und Vergoldung beraubt ist), eine Speise für die Würmer; doch wird das Werk selbst nicht verloren sein, sondern (wie er glaubt) dereinst erscheinen in einer neuen schöneren Ausgabe, durchgesehen und verbessert von dem Autor".

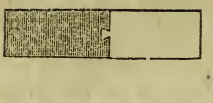
Zweite Abtheilung. Elektricität durch Berührung.

Erstes Kapitel.

§ 63. Die Hauptgesetze der Berührungselektricität.

Legt man eine Zinkplatte auf die Zunge und eine Kupferplatte unter dieselbe oder an die feuchte Lippe, so bemerkt man, wenn man dieselben berührt, einen eigenthümlich beißenden, brennenden Geschmack, der sogleich aufhört, sobald man die Berührung beider Platten aufhebt; derselbe ist verschieden, wenn man beide Platten verwechselt. Stemmt man einen silbernen Löffel gegen das Zahnfleisch und einen blanken Schlüssel gegen den Augapfel oder den benetzten Augenwinkel, so bemerkt man im Augenblicke der Berührung beider Metalle einen schwachen blitzähnlichen Schein. Stellt man ein Metall auf eine Wunde und ein anderes an einen andern naheliegenden genügend benetzten Theil, so wird der Schmerz bei der Berührung der Metalle bedeutend vermehrt. Aus diesen Beispielen ersieht man, daß, *wenn zwei verschiedene Metalle so in gegenseitige Berührung gebracht werden, daß sie andrerseits durch einen Theil des menschlichen Körpers verbunden werden*, sich gewisse Wirkungen auf denselben äußern. Diese Wirkungen sind ebenfalls Folgen der Elektricität. Während dieselbe aber bisher durch *Reibung* hervorgerufen wurde, entsteht sie in diesen Fällen durch bloße *Berührung*; daher nennt man sie auch: *Berührungselektricität*, häufig aber nach *Galvani*, der ihre Wirkungen zuerst beobachtete, *Galvanismus*. Daß in der That nur Berührung erforderlich ist, und wirklich Elektricität hervorgerufen wird, dies wurde von *Volta* da-

Fig. 111.



durch nachgewiesen, daß er eine Kupfer- und eine Zinkplatte (Fig. 111.) zusammenlöthete. Dann zeigte die Kupferplatte negative, die Zinkplatte positive Elektricität. — Das hierbei Statt findende Gesetz läßt sich nun so aussprechen:

1) Wenn zwei verschiedene Metalle sich berühren, so strömt positive Elektricität von dem einen Metall auf das andere und negative von dem zweiten auf das erste über.

Ferner gelten hierüber noch folgende Gesetze:

2) Die Wirkung für dieselben zwei Metalle wird weder durch die Größe der Platten, noch durch die Menge der Berührungspunkte vermehrt.
3) Ist die Verbindung zweier Metalle durch andere Metalle hergestellt, so ist die elektrische Wirkung dieselbe, als wenn jene beiden Metalle sich unmittelbar berührten.

Hieraus ergiebt sich, daß es gleichgültig ist, ob die beiden Metalle durch einen Kupferdraht verbunden werden, oder sich unmittelbar berühren. Vor allen Dingen muß man aber darauf achten, daß an den Orten, wo zwei Metalle in Berührung kommen, die Metalle ganz rein sind, und nicht mit einer noch so dünnen Oxydschicht bedeckt sind.

Anm. Es entsteht überhaupt Elektricität durch die Berührung zweier verschiedener Körper; andre Körper als Metalle, denen sich auch die Kohle anschließt, befolgen aber nicht das sehr wichtige dritte Gesetz, wodurch die theoretische Betrachtung sich sehr verwickelt, während die schließliche Wirkung sich auch ohne Rücksicht auf jene schwächeren Nebenströme erklärt. Deswegen ist ihre Erwähnung vermieden worden.

Gesch. Bem. Die erste Entdeckung des Galvanismus machte 1790 Aloysius Galvani (Arzt in Bologna, gest. 1798), indem Frösche, die für seine kranke Frau zubereitet wurden, mit einem Messer berührt aufzuckten, während einer Elektrisirmaschine Funken entzogen wurden. Er vermuthete eine besondere thierische Elektricität und wollte die Wirkung der Luftelektricität darauf erproben; daher hing er Frösche im Freien an ein eisernes Gitter, und sah sie zucken, sobald der eiserne Draht, der durch sie ging, an das Gitter gedrückt wurde. Erst dies war eine eigentlich neue Entdeckung. Er beobachtete aber diese Zuckungen auch im Zimmer, als der Frosch auf eine eiserne Scheibe gelegt und diese mit dem Drahte berührt wurde. Bald bemerkte er, daß die Wirkung viel kräftiger wurde, so oft er zwei verschiedene Metalle anwendete. Die richtige Erklärung aber, daß durch die Berührung der Metalle Elektricität erregt sei, wurde zuerst 1793 von Volta aufgestellt, und später 1796 durch den oben beschriebenen Versuch bestätigt. Doch behauptete Galvani's Ansicht von einer besonderen thierischen Elektricität noch lange die Oberhand, besonders da fast alle Versuche nur an dem thierischen Körper angestellt wurden.

Um die sehr schwache Elektricität nachzuweisen, bediente sich Volta des Condensators (§ 60. Anm.), dessen Platte er mehrmals mit der Kupferplatte berührte. Wurde dann der Deckel abgehoben, so zeigte sich negative Elektricität. Berührte er dagegen den Deckel, der aus Messing, also überwiegend aus Kupfer bestand, mit der Zinkplatte, so bemerkte er keine Wirkung.

Es war nemlich nach dem dritten Gesetze die Wirkung dieser drei Metalle: Kupfer, Zink, Kupfer, gleich der Wirkung einer Berührung von Kupfer und Kupfer, also gar keine. Bedeutend war aber die Wirkung, als er den Deckel des Condensators vorher mit einem feuchten Tuchläppchen belegte. Dadurch wurde er vielleicht auf die nach ihm benannte Voltasche Säule geführt.

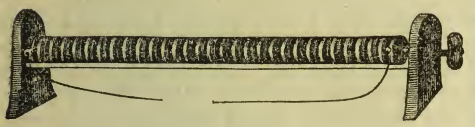
Zweites Kapitel.

Die Einrichtung der galvanischen Ketten.

§ 64. Die Voltasche Säule und die constante Kette.

Die Voltasche Säule (Fig. 112) besteht aus einer Anzahl von etwa 50—100 Kupfer- und Zinkplatten, mindestens von der Größe eines Thalers, die am besten auf zwei festen Glasstäben, so neben einander geschichtet werden, daß zwischen zwei Paaren, deren jedes aus einer Kupfer- und Zinkplatte besteht, eine Papp- oder Tuchscheibe gelegt wird, die vorher in Wasser getaucht ist, zu dem irgend eine Säure oder auch Essig, jedenfalls aber in sehr geringer Quantität, gegossen worden ist. Indem an beiden Enden je eine Platte genügt, ist die Anordnung, wenn man mit K, Z, F Kupfer, Zink und feuchte Scheibe bezeichnet, folgende: +KFZKFZKFZKFZ—. Die Berührung der äußersten Platten wird erst durch den Leitungsdraht bewirkt, und es geht also die positive Elektricität von dem Kupfer nach dem Zink, die negative von dem Zink nach dem Kupfer; man nennt daher die beiden äußersten Platten die Pole der Säule, den Kupfer- und Zinkpol, oder den positiven und negativen Pol. An jeder Berührungsstelle zweier Metallplatten wird Elektricität hervorgerufen, die durch die feuchte Tuchscheibe dem nächsten Plattenpaare mitgetheilt wird; so wächst die Stärke der Elektricität in der Säule mit der Menge der Plattenpaare. Die Vertheilung der Elektricität ist aber sehr verschieden, je nachdem der eine Pol mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt wird, oder beide Pole isolirt sind. Im ersten Falle zeigt sich in der äußersten nicht isolirten Platte, es sei z. B. die Kupferplatte, ebenso in der darauf folgenden Tuchscheibe und Zinkplatte keine Elektricität, weil sie sogleich in die Erde entweicht; in der danebenliegenden Kupferplatte ist dagegen negative, und diese wächst in jedem folgenden Plattenpaare bis nach dem Zinkpol. Im zweiten Falle zeigt der Kupferpol positive, der Zinkpol negative Elektricität; beide Elektricitäten nehmen nach der Mitte zu ab und in der Mitte selbst zeigt sich gar keine. Die in jedem Pole angehäufte Elektricität ist aber nur die Hälfte derjenigen, welche sich in dem Zinkpole des ersten Falles zeigte.

Fig. 112.

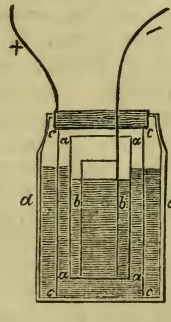


Gesch. Bem. Die Säule entdeckte Volta 1799; sie wurde zuerst 1800 bekannt und sicherte seiner Theorie den Sieg. Dieselbe erregte das

größte Aufsehen; auf Napoleons Vorschlag von der Pariser Akademie eingeladen kam er 1801 nach Paris, wo ihm die große goldene Medaille zuerkannt wurde. Im folgenden Jahre setzte Napoleon zwei Preise aus, einen von 3000 Fr. für den besten Versuch über Elektricität in jedem Jahre, und einen von 60000 Fr. für denjenigen, welcher die Lehre der Elektricität oder des Magnetismus um einen gleichen Schritt förderte, als Franklin und Volta. Einige Entdeckungen Volta's sind schon oben erwähnt (G. B. zu § 60. § 38.); er war 1745 zu Como geboren und beschäftigte sich von seiner frühesten Jugend an mit Elektricität; seit 1774 war er Professor in Pavia, er starb 1826.

Die Voltasche Säule hat in ihrer äußeren Einrichtung mehrfache sehr große Abänderungen erfahren; alle nach demselben Principe zusammengesetzte Instrumente begreift man unter dem gemeinschaftlichen Namen der galvanischen Ketten oder Batterien; wir heben unter ihnen nur folgende Einrichtung hervor. In vielen Fällen befinden sich die beiden Metalle, zunächst ohne Berührung, in einem Gefäße, welches den feuchten Leiter enthält, und die Elektricität wird erst dadurch hervorgerufen, daß an den Metallen angebrachte Drähte zur Berührung gebracht werden. Ein auf diese Weise zusammengestelltes Metallpaar heißt ein Element; setzt man mehrere solche Elemente dergestalt zusammen, daß ein bestimmtes Metall des einen Elementes, etwa immer das Kupfer, durch einen Metallstreifen mit dem andern Metalle, etwa dem Zinke, des folgenden Elementes in Verbindung gebracht wird, so hat man eine Batterie, deren Wirkung man leicht aus dem folgenden Schema erkennt, in welchem | KFZ | je ein einzelnes Element, die Haken die Verbindungsdrähte darstellen: +|KFZ|KFZ|KFZ|KFZ|—. Auf diese Art sind alle sogenannten constanten Ketten eingerichtet, deren starke und andauernde Wirkung erst die praktische Anwendung des Galvanismus möglich gemacht hat. Darum verdienen sie eine ganz besondere Erwähnung. Ihre Einrichtung ist im allgemeinen folgende. Man unterscheidet (Fig. 113.)

Fig. 113.



1) eine poröse Thonzelle aa, oder einen Glascylinder, der unten mit einer thierischen Blase zugebunden ist, 2) in dieser Zelle eine schwache Säure oder auch blos Salzwasser; hierin befindet sich ein Metallkörper bb; 3) um die Zelle concentrirte Salpetersäure oder Kupfervitriollösung, in der sich ein zweiter Metallkörper cc befindet. Das Ganze ist in einem größeren Glascylinder dd; an beiden Metallen sind Drähte oder Metallstreifen angebracht, um entweder das eine Metall des einen Elementes mit dem entgegengesetzten des folgenden ihm gleichen zu verbinden, oder die Vereinigung der äußersten Metallstücke herzustellen. Auf jenes Schema führt man ihre Einrichtung leicht zurück, wenn man sich die Flüssigkeit durch eine poröse Wand — in zwei verschiedene Flüssigkeiten geschieden denkt, wodurch folgende Darstellung entsteht:

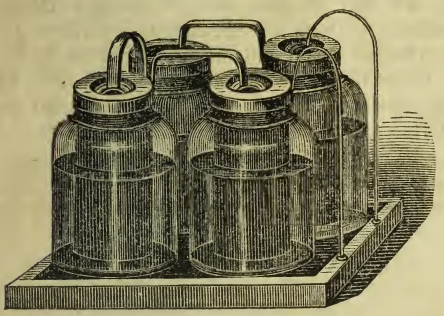
$$-|KF-FZ|KF-FZ|KF-FZ|KF-FZ|+.$$

Die häufigsten Arten dieser Elemente sind, nach ihren Erfindern benannt,

1) das Becquerelsche oder Daniellsche: Kupfer in Kupfervitriollösung,
2) das Grovesche: Platina in Salpetersäure,
3) das Bunsensche: Kohle in Salpetersäure.

Für alle ist Zink in dünner Säure das andere Metall und bildet das positive Metall, nach dem also die positive Elektricität in dem Verbindungsdrahte hinströmt. Die Thonzelle oder die Blase hindert die Vereinigung der Flüssigkeit, gestattet aber die elektrische Einwirkung durch sie hindurch. In Fig. 114 ist die Zusammensetzung mehrerer solcher Elemente zu einer Batterie ersichtlich.

Fig. 114.



Gesch. Bem. Die Trennung der Schwefelsäure und der Kupferlösung durch Thierblase ist zuerst 1830 von einem deutschen Physiker Wach vorgenommen, eine constante Batterie als solche aber erst 1836 von dem englischen Physiker Daniell angegeben worden.

§ 65. Die offene und die geschlossene Kette.

Für den elektrischen Vorgang macht es einen großen Unterschied, ob eine galvanische Kette offen oder geschlossen ist. Man nennt nemlich eine Kette offen, wenn die äußersten Metalplatten unverbunden sind; sind dieselben dagegen durch einen Leiter in Verbindung gesetzt, so heißt die Kette geschlossen. In den äußersten Platten der offenen Kette findet ein Zustand elektrischer Spannung Statt, d. h. ein Bestreben der entgegengesetzten Electricitäten, sich zu vereinigen, und diese **Spannung** wächst mit der **Anzahl** der Plattenpaare, dagegen nicht mit der **Größe** der Platten, weil durch diese die elektrische Spannung in den einzelnen Paaren selbst nicht vermehrt wird. In der geschlossenen Kette dagegen gleicht sich die Elektricität auf der einen Seite aus, während sich zugleich in den Berührungsflächen je zweier Metallplatten neue Elektricität bildet; dadurch entsteht ein fortwährendes Strömen; dagegen müßte die Spannung bei vollkommener Leitung ganz aufhören. Die Menge dieser strömenden Elektricität wird nun nicht durch die Anzahl der Plattenpaare vermehrt; sie hängt nur von der Menge der Elektricität ab, welche die leitenden Körper hindurchgehen lassen, denn die

Elektricitätsquelle ist selbst zunächst unerschöpflich und ersetzt sogleich das, was abgeleitet ist. Der leitende Körper wird aber desto mehr Elektricität hindurchlassen können, je größer die Fläche ist, in welcher derselbe die Oberfläche der Platten berührt, und daher wird die Menge der strömenden Elektricität von der Größe der Oberfläche der Platten abhängen. Man ersieht aus dieser Herleitung, daß die Wirkung der **geschlossenen** Kette wesentlich durch die **Größe** der Platten, nicht aber durch die **Anzahl** derselben vermehrt wird. Gehört dagegen derjenige Körper, welcher die Schließung der Kette bewirkt, zu den schlechteren Leitern, oder ist er sehr lang, oder sehr dünn, so daß die Elektricität nur langsam oder in geringer Menge denselben durchströmen würde, so muß die Spannung derselben verstärkt werden, damit sie schneller durch den Körper getrieben werde; dies geschieht aber durch Vermehrung der Plattenpaare, die also bei mangelhafter Leitung auch eine Verstärkung der Wirkung in der geschlossenen Kette herbeiführt.

Gesch. Bem. Das Gesetz, dessen Entwickelung in diesem Paragraphen enthalten ist, ist von Ohm, Professor in Erlangen (gest. 1854), 1827 entdeckt und veröffentlicht worden, aber erst später allgemein bekannt geworden.

Drittes Kapitel.

Die Wirkungen der galvanischen Ketten.

§ 66. Die Wirkungen der galvanischen Ketten im allgemeinen.

Die Wirkungen dieser galvanischen Ketten sind 1) physiologische, d. h. auf den thierischen Körper ausgeübte, 2) Wärme und Licht entwickelnde, 3) chemische und 4) magnetische.

1. Physiologische Wirkungen. Berührt man die Pole einer Voltaschen Säule mit nassen Fingern, so verspürt man im Augenblick der Schließung eine merkliche Erschütterung, sodann hört die Empfindung auf oder geht bei starken Säulen in ein eigenthümliches Gefühl über, ähnlich dem eingeschlafener Hände; die Erschütterung kehrt aber wieder, sobald die Kette geöffnet wird. Ebenso bemerkt man eine starke Lichterscheinung beim Schließen und Oeffnen der Kette, sobald man den einen Draht in die Nähe des Auges bringt, den andern in die Hand nimmt. Diese Wirkungen werden wesentlich verstärkt, wenn man größere Metallkörper, die mit den Polen in Verbindung stehen, in die Hände nimmt. Da der menschliche Körper ein weit schlechterer Leiter, als Metall ist, so ist eine größere Spannung nöthig, um eine kräftige Verbindung der Elektricitäten herzustellen; daher werden diese physiologischen Wirkungen sehr durch Vermehrung der Plattenpaare verstärkt; das Befeuchten der Hände und die größeren Metallstücke sollen ebenfalls die Leitung verbessern, indem durch dieselben der Elektricität eine größere gut leitende Fläche dargeboten wird, durch welche sie in den menschlichen Körper übergehen kann.

Gesch. Bem. Ritter (geb. 1771 in Schlesien, Arzt in Jena, gest. 1810) und Alexander v. Humboldt haben die physiologischen Versuche gleich in der ersten Zeit der Entdeckung des Galvanismus in größerem Umfange und zwar am eigenen Körper angestellt. Zu diesem Zwecke hatte der Letztere 1796 und 1797 (s. G. B. zu § 107.) sich selbst zwei Spanischefliegenpflaster legen lassen und die Blasen aufgeschnitten. Als dann eine Silberplatte und ein Zinkdraht unter sich und mit der Wunde in Berührung gebracht wurden, empfand er ein heftiges Brennen und einen gewaltigen Druck, als wenn er mit der geballten Faust auf die Schulter geschlagen würde. Dabei waren die Hals- und Schultermuskeln mächtig geschwollen und in heftiger Bewegung, das Haar sträubte sich. Dasselbe geschah, wenn beide Wunden, aber nicht, wenn nur die eine Wunde und die unverletzte Haut berührt wurde. Erst in der neueren Zeit sind auch diese physiologischen Wirkungen durch du Bois-Reymond, Prof. der Physiologie in Berlin, auf genaue Gesetze zurückgeführt worden.

2. Erregung von Licht und Wärme. Nähert man die beiden Poldrähte (s. Fig. 112.) einander, so erscheint im Augenblicke der Berührung ein Funken. Wendet man eine Säule von starker Spannung an, so sieht man, nachdem man die Pole, die zu diesem Zwecke gewöhnlich mit zugespitzten Kohlen versehen sind, von einander entfernt hat, zwischen denselben als Zeichen und Folge der sich fortwährend ausgleichenden Elektricität, ein sehr starkes Licht, das stärkste, welches man hervorzubringen vermocht hat. Bringt man zwischen dieselben einen dünnen Eisendraht, so wird derselbe glühend und bei hinreichender Stärke der Batterie geschmolzen. Hierbei kommt es vorzüglich auf die Menge der durchströmenden Elektricität an, da nicht eine augenblickliche Wirkung hervorgerufen werden soll; daher werden besonders große Platten angewendet, aber oft nur ein einziges Plattenpaar. Auch die durch den elektrischen Strom erzeugte Hitze ist die größte, die man hervorbringen kann. Man benutzt diese Wirkung mit großem Vortheil bei Sprengungen, indem man durch das Pulver der Patrone einen Draht leitet, der bei Schließung der Kette glühend wird und die Entzündung des Pulvers bewirkt.

3. Chemische Wirkungen. Die einfachste chemische Wirkung kann man bemerken, wenn man eine Münze in gesäuertes Wasser legt und dann dieselbe mit einem Zinkstabe berührt; sogleich steigen von dem Zinke und der Münze aus Bläschen auf, die aus Wasserstoff und Sauerstoff bestehen, so daß durch den galvanischen Strom das Wasser in seine Bestandtheile zerlegt worden ist. Es gilt als Gesetz, daß der Sauerstoff an den positiven, das Radikal an den negativen Pol, daß ferner bei Zerlegung von Salzen die Säure an den positiven, die Basis an den negativen Pol übergeht; bei den Salzen, deren Basis nicht zu den Alkalien gehört, wird jedoch diese selbst sogleich weiter zersetzt, so daß schließlich am negativen Pole das Radikal der Basis auftritt. Bringt man daher auf eine blanke Silbermünze einige Tropfen einer Auflösung von essigsaurem Bleioxyd (als starkes Gift unter dem Namen Bleizucker bekannt), und berührt dieselbe mit einem zugespitzten Zinkstabe, so schlägt sich auf dem Silber das Blei in zarten Ringen an. — Man kann daher Eisen und Kupfer vor dem Oxydiren schützen, wenn man

sie mit Zink in Verbindung bringt, indem dann jederzeit der Sauerstoff an das Zink geht; umgekehrt aber darf man Zinkplatten nicht mit eisernen Nägeln befestigen, weil jene sonst desto stärker von dem Sauerstoff der Luft angefressen werden.

Anm. Aus dieser chemischen Wirkung des Galvanismus erklärt sich auch, warum die Voltasche Säule alsbald ihre Wirksamkeit verliert. Der Sauerstoff des zersetzten Leiters geht nemlich an das Zink, bildet hier Zinkoxyd; dieses wird wieder in seine Bestandtheile zerlegt, und das Zink setzt sich auf der Kupferplatte an; zugleich geht der Wasserstoff des Wassers an das Kupfer, und indem beide die Kupferplatte bedecken, wird die Wirkung der Säule sehr bald außerordentlich geschwächt. Die constanten Ketten dienen nun eben dazu, um diesen Uebelstand zu vermeiden. In diesen Fällen wird nemlich auch am positiven Pole Zinkoxyd gebildet, welches sich alsbald auflöst, aber die Thonzelle oder Blase gestatten ihm nicht den Durchgang an das andre Metall. Dagegen scheidet sich bei der Daniellschen Kette am negativen Pole das Kupfer aus der Kupfervitriollösung aus, welches dadurch den Kupferpol nur vergrößert, die Wirkung aber nicht stört. Bei der Groveschen und Bunsenschen Kette wird allerdings das Wasser zersetzt, und es scheidet sich an dem negativen Pole, dem Platina oder der Kohle, Wasserstoff aus, wie bei der Voltaschen Säule; derselbe wird aber auf Kosten eines Theiles der Salpetersäure sogleich wieder zu Wasser, indem sich salpetrige Säure (§ 42., 2.) bildet, die unter dem ihr eigenthümlichen Geruche und auch wohl mit gelbrothen Dämpfen entweicht. Daher bleibt Platina und Kohle immer in unveränderter Berührung mit dem flüssigen Leiter.

Man hat auf Grund aller dieser Erscheinungen angenommen, daß die einzelnen chemischen Elemente selbst bei der Berührung elektrisch werden und durch diese Elektricität sich gegenseitig anziehen. Man hat den Sauerstoff als den am meisten negativ elektrischen Körper, das Kalium als den am meisten positiv elektrischen Körper bezeichnet und die übrigen Körper zwischen ihnen in einer Reihenfolge eingeschaltet, aus der wir die wichtigsten Körper hier aufführen:

Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, Chlor, Phosphor, Kohlenstoff, Wasserstoff, Gold, Platina, Quecksilber, Silber, Kupfer, Blei, Eisen, Zink, Aluminium, Calcium, Natrium, Kalium.

Zunächst ergiebt sich nun, warum der Sauerstoff jederzeit an den positiven Pol der Voltaschen Säule geht. Je weiter zwei Körper in dieser Reihe aus einander stehen, desto inniger ist ihre chemische Verbindung; am schwersten läßt sich daher Kali und Natron zerlegen. Je näher zwei Körper auf der Seite der negativen Elektricität stehen, desto kräftiger negativ elektrisch zeigt sich die Verbindung derselben. Daher gehen die Säuren an den positiven Pol und unter ihnen ist die Schwefelsäure die stärkste.

Gesch. Bem. Die erste chemische Zersetzung durch die Voltasche Säule, nemlich die des Wassers, wurde schon 1800 von zwei englischen Physikern Nicholson und Carlisle beobachtet; und allgemein wurden hierauf Versuche andrer Zersetzungen gemacht. Namentlich aber erkannte Humphry Davy (geb. 1778 in England, gest. 1829) klar, welches gewaltige Mittel die Voltasche Säule für die chemische Zersetzung darbiete, und benutzte dasselbe mit dem größten Eifer. Durch beharrlich fortgesetzte und sehr geschickt angestellte Versuche fand er 1809, daß Kali und Natron Oxyde zweier Metalle sind, indem er sie durch eine starke Säule zersetzen konnte. Für diese Entdeckung wurde ihm trotz des damaligen Krieges zwischen England und Frankreich der oben (G. B. § 64.) erwähnte kleinere Voltasche Preis zuerkannt. Er gab die ersten Grundzüge der oben angedeuteten elektrochemischen Theorie, die dann von ihm und Berzelius (geb. 1779 in Ostgoth-

land, gest. 1848 als Professor der Chemie in Stockholm) weiter ausgebaut, aber erst von Faraday (geb. 1790 zu London, erst Buchbinder, dann Gehülfe und Nachfolger Davys, wohl der größte Physiker der Gegenwart) fest begründet und außerordentlich erweitert worden ist.

§ 67. Die Galvanoplastik.

Die größte praktische Wichtigkeit haben diese chemischen Wirkungen durch die Galvanoplastik erfahren. Zu diesem Zwecke kann man sich eines Daniellschen Elementes, wie in Fig. 115., bedienen. aa ist der Glascylinder mit der Kupfervitriollösung, in welche eine Kupferplatte e eintaucht. In dem größeren Cylinder hängt der kleinere bb, mit einer Blase zugebunden; in ihm ist eine schwache Säure, in dieser auf einem Drahte ein Zinkblock c; der Draht dd geht von dort ab nach dem unteren Theile bis auf e. Die abzubildende Form wird auf e gelegt und steht damit in leitender Verbindung, so daß sich das Kupfer genau auf die Form ansetzt und einen vollkommen genauen Abdruck gewährt. Um die Form zu erhalten, umgiebt man die Münze mit einem Rande von steifem Papier und gießt geschmolzenes Wachs oder Stearin auf die Münze. Sodann muß man diese Form noch auf allen Seiten mit einem leitenden Stoffe, etwa feiner Kupferbronce mittelst eines Pinsels überziehen, und legt dann diese Form auf e mit der abzubildenden Fläche nach oben. Auf ähnliche Weise kann man nun andere Metallsachen versilbern und vergolden, indem man sie in einer Silber- oder Goldauflösung in Verbindung mit dem negativen Pole einer constanten Batterie bringt.

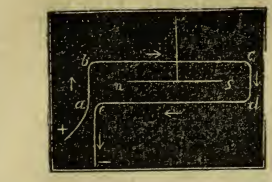
Fig. 115.

Gesch. Bem. Die Galvanoplastik ist von Jakobi in Dorpat 1837 entdeckt worden, der dafür 25000 Silberrubel erhielt. Jetzt lebt derselbe in Petersburg.

§ 68. Elektromagnetische Erscheinungen.

Wir haben in § 66. die magnetischen Wirkungen der galvanischen Kette noch unberührt gelassen, und kommen gegenwärtig zur Behandlung derselben. Wenn man den Draht einer galvanischen Kette in der Richtung einer freischwebenden Magnetnadel über dieselbe führt, so wird dieselbe, so lange der Strom dauert, von ihrer Richtung abgelenkt, und zwar ist die Wirkung dergestalt, daß, wenn man sich eine menschliche Figur in der Richtung des positiven Stromes mit dem Gesichte gegen die Magnetnadel schwimmend denkt, die Nordspitze derselben nach der linken Seite der Figur abgelenkt wird. Sobald der Strom aufhört, kehrt die Magnetnadel in ihre frühere Lage zurück. — Führt man also den Leitungsdraht auf die in Fig. 116 bezeichnete Weise um die ruhende Magnetnadel ns, so daß der positive Strom, vom Kupferpol kommend, den Draht in der Richtung des Pfeiles durchläuft, so ist in ab der

Fig. 116.



Kopf der menschlichen Figur oben, das Gesicht nach rechts gewendet, in bc der Kopf rechts, das Gesicht nach unten, in cd der Kopf unten, das Gesicht nach links, in de der Kopf links, das Gesicht nach oben, in allen Fällen also die rechte Hand mit dem Nordpol des gedachten Magneten vor, die linke mit dem Südpol hinter der Tafel; folglich wendet sich die Magnetnadel so, daß der Nordpol hinter, der Südpol vor der Tafel liegt. — Wird daher der Draht spiralförmig in zahlreichen Windungen um eine Magnetnadel geführt, so vereinigen sich die Wirkungen der einzelnen Stellen und auch schon ein schwacher elektrischer Strom ist im Stande, eine Ablenkung der Magnetnadel hervorzubringen; zugleich kann man aus der Größe dieser Ablenkung einen Schluß auf die Stärke der dieselbe hervorbringenden elektrischen Kraft machen. Auf diesem Principe beruhen der Multiplicator oder das Galvanometer (Fig. 117). Eine ähnliche Wirkung übt ein solcher spiralförmig gewundener Draht auf einen in der Spirale befindlichen unmagnetischen Eisenstab. (Fig. 118.) Der Magnetismus wird dadurch in demselben so vertheilt, daß das Eisen selbst zu einem kräftigen Magneten, wird, der seinen Nordpol auf der linken Seite der oben bezeichneten menschlichen Figur hat; man kann auch sagen, der Südpol befinde sich auf der Seite, von welcher aus betrachtet, der Strom das Eisen in der Richtung des Uhrweisers umkreist. Ist nun der Eisenstab von Stahl, so findet eine dauernde Vertheilung Statt und man hat daher in dem elektrischen Strom ein neues Mittel, kräftige Magnete künstlich herzustellen. Ist dagegen der Eisenstab von weichem Eisen, so ist derselbe nur so lange magnetisch, als der elektrische Strom die Spirale durchströmt; mit dem Aufhören des Stromes hört auch das Eisen auf magnetisch zu sein. Ein solches Eisen heißt ein Elektromagnet.

Fig. 117.

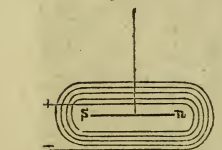
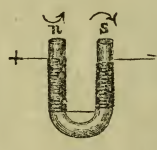
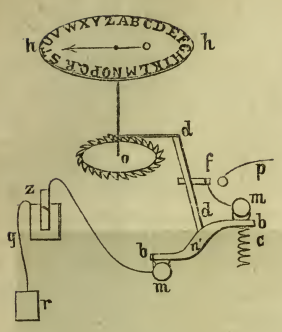


Fig. 118.



Die wichtigste Anwendung, welche diese magnetischen Wirkungen eines galvanischen Stromes bis jetzt erhalten haben, ist die der elektromagnetischen Telegraphen. Dieselben sind auf verschiedene Weisen ausgeführt worden; wir wollen hier nur diejenigen Apparate beschreiben, die gegenwärtig in Deutschland benutzt werden. 1) Ein Zeigertelegraph (Fig. 119.), wie er von Siemens und Halske construirt namentlich für den Eisenbahndienst benutzt worden ist. Die Haupttheile des Apparates sind folgende: a) ein hufeisenförmiger Elektromagnet mm, mit dem um n beweglichen Anker bb. Der letztere wird in seiner natürlichen Lage durch eine elastische Feder c etwas von dem Elektromagneten entfernt gehalten. Sobald die Kette geschlossen ist, wird das Hufeisen magnetisch und zieht den Anker an; ist die Kette geöffnet, so zieht die

Fig. 119.



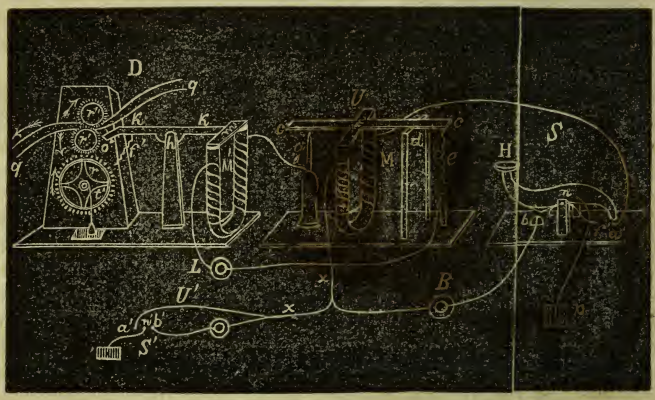
Feder denselben zurück. b) Ein Stab dd, an dem Anker befestigt und mit demselben zugleich beweglich. Dieser Stab bewirkt nun durch seine Bewegung zweierlei; er öffnet erstens die Kette in f, wenn der Anker angezogen wird, und der Stab selbst sich nach links bewegt; er schließt sie, wenn der Anker sich in seiner natürlichen Lage befindet; zweitens greift er in die Zähne eines Rades o, welches er bei seiner Bewegung herumdreht. c) Der Zeigerapparat. An der verlängerten Achse des Rades o ist ein Zeiger t befestigt, der sich über einer Scheibe hh bewegt, auf der sich so viel Buchstaben befinden, als das Rad Zähne hat. Es versteht sich, daß mit jedem solchen Apparate eine galvanische Batterie z, gewöhnlich aus Daniellschen Elementen bestehend, in Verbindung ist. — Einen ganz gleichen Apparat hat man sich an der zweiten Station zu denken; die leitende Verbindung geschieht vom Apparate aus durch einen Draht p, der entweder durch die Luft, oder unter der Erde isolirt bis an die nächste Station gezogen wird; die Rückleitung dagegen geht durch den feuchten Erdboden; es werden nemlich an den Stationsorten große Metallplatten r in den feuchten Erdboden gesenkt, und an diese Drähte q gelöthet, die mit Drähten in Verbindung stehen, die von den entgegengesetzten Polen der Batterien ausgehen.

Um den Hergang genauer zu verfolgen, haben wir zwei Bewegungen zu unterscheiden, welche die Apparate annehmen können. a) Der Anker wird angezogen, dann wird die Kette bei f geöffnet und zugleich der Stab dd über den nächsten Zahn des Rades o geschoben. Diese Bewegung entsteht dadurch, daß das Hufeisen magnetisch wird, also die Kette geschlossen ist. Es ist auch sichtbar, daß dieselbe an beiden Orten zu gleicher Zeit erfolgen muß, weil das Schließen der Kette nie an einem Orte allein Statt finden kann. Sie hat zur Folge die Oeffnung der Kette. b) Der Anker wird durch die Feder c zurückgezogen; dann wird das Rad o um einen Zahn und dadurch zugleich der Zeiger t um einen Buchstaben weiter gedreht; zugleich wird aber die Verbindung auf dieser Station bei f hergestellt. Diese Bewegung geschieht, wie gesagt, dadurch, daß die Feder c das unmagnetische Hufeisen zurückzieht, also nur, wenn die Kette geöffnet ist, und sie bewirkt, wenn sie an beiden Orten erfolgt, daß die Kette geschlossen ist. Ist nun der elektrische Strom wirksam, so wechseln die Bewegungen a und b regelmäßig und gleichzeitig an beiden Orten und führen die Zeiger t, wenn dieselben ursprünglich auf demselben Buchstaben standen, über dieselben Buchstaben hin. Wird aber der Weiser und damit auch das Rad o an einer Stelle aufgehalten, ehe der Weiser die Bewegung b ganz vollendet, so ist hier die Wirksamkeit der Feder c gehemmt und die galvanische Kette

ist in f geöffnet; an dem andern Stationsorte dagegen wird, da dort die Feder wirken kann, noch eine Bewegung b erfolgen; da aber der Strom einmal unterbrochen ist, so hört nun auch hier die Bewegung auf. Der Zeiger bleibt also auch an der zweiten Station auf demselben Buchstaben stehen, auf dem er an der ersten angehalten wurde. Wird der Zeiger freigelassen, so giebt die Feder auch dem ersten Apparat die Bewegung b und jetzt gehen beide Apparate wieder ganz gleichmäßig, bis der Zeiger von neuem angehalten wird.

Der Morsesche Drucktelegraph (Fig. 120.), der gegenwärtig in Deutschland vorzugsweise, namentlich als Staatstelegraph benutzt

Fig. 120



wird. An ihm unterscheidet man drei verschiedene Theile: a) den Schlüssel S, b) den Ueberträger U, und c) den Druckapparat D. a) der Schlüssel ist ein Hebel, nicht unähnlich einer Thürklinke, um n drehbar. Die Vorderseite H wird zur Zeit der Ruhe durch die elastische Feder f in die Höhe gedrückt; dann berührt die Hinterseite den Knopf a; wird aber H herabgedrückt, so wird die Verbindung mit a aufgehoben, dagegen berührt die Vorderseite den Knopf b. — b) Der Ueberträger U besteht aus einem Elektromagneten M und dem Anker m, welcher an dem um d drehbaren Hebel cc befestigt ist. Dieser wird in ruhiger Lage durch die Feder e von dem Hufeisen M abgezogen, berührt dagegen, wenn er angezogen wird, die Spitze der Säule g. — c) Der Druckapparat D hat den Elektromagneten M' mit dem Anker m', der an dem um h drehbaren Stabe kk befestigt ist. Wird der Anker von M' angezogen, so wird ein in o befestigter Stift gegen den Papierstreifen qq gedrückt; ist aber M' nicht magnetisch, so zieht die Feder f' den Stab k und auch zugleich o herab. Das Rad r wird durch ein Gewicht herumgedreht, und dadurch werden auch die Räder r' und r'' in der Richtung der Pfeile bewegt; beide führen zugleich den Papierstreifen qq langsam vor dem Stifte vorbei. Ein Stift t hemmt die Bewegung der Räder, so lange der Apparat in Ruhe sein soll. — Betrachtet man jetzt die verbindenden Drähte, so geht zunächst ein Draht der

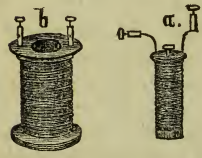
Batterie L nach dem Elektromagneten M' und von dort, ebenso wie der andere Draht der Batterie, an den Anker des Ueberträgers nach den Punkten g und e. Dieser Strom ist also in g geöffnet, sobald M unmagnetisch ist, ist dagegen geschlossen, so oft M magnetisch ist. Von dem Elektromagneten M des Ueberträgers geht ein Draht nach dem hinteren Knopfe a, der andere nach dem Leitungsdrahte x, welcher durch die Luft oder die Erde nach der andern Station führt. Von dem Schlüssel aber gehen, außer dem erwähnten Drahte von a nach dem Ueberträger, ein zweiter vom Knopfe b über die Batterie B nach dem Leitungsdrahte x, und ein dritter von der Mitte des Hebels nach einer in die Erde versenkten Platte p. — In Bezug auf die Wirkung der beiden Apparate U und S in Verbindung mit den gleichen U' und S' der andern Station müssen wir zweierlei unterscheiden. 1) Ist der Schlüssel eines Ortes in seiner natürlichen Lage, so ist der Strom der Batterie in b offen, dagegen steht der Ueberträger dieses Ortes durch a mit der Erde in p und mit dem Leitungsdrahte x in Verbindung. Ist dies also an beiden Orten der Fall, so ist gar kein elektrischer Strom vorhanden. 2) Ist aber der Schlüssel herabgedrückt, so tritt die Batterie in Verbindung mit dem Erdboden in p und dem Leitungsdraht x; dagegen ist die Verbindung mit dem Ueberträger dieses Ortes in a aufgehoben. — Ist also der Schlüssel an dem einen Orte herabgedrückt, am anderen nicht, so ist die Batterie des ersten Ortes nebst dem Ueberträger des anderen durch Erde und Leitungsdraht innerhalb des Stromes; dagegen ist die Batterie des zweiten Ortes und der Ueberträger des ersten außer der Verbindung. So oft also der Schlüssel der ersten Station herabgedrückt wird, wird M der zweiten Station magnetisch und also der Anker m und die Platte angezogen; dadurch wird aber auch M' ebendaselbst magnetisch, m' und der Stab k angezogen und der Stift gegen das Papier gedrückt. Je nachdem nun dieses Herabdrücken kürzere oder längere Zeit dauert, giebt der Stift auf dem Papier nur einen Punkt oder einen Strich an, die zusammengesetzt die verschiedenen Buchstaben oder anderen Zeichen darstellen. — Der Ueberträger hat aber folgenden Zweck. Der Anker m kann dem Elektromagneten so nahe gebracht werden, daß nur eine geringe Kraft zu seiner Anziehung hinreicht. Diese wird durch die Batterie der einen Station hervorgebracht trotz des langen Weges, den die Elektricität zwischen beiden Orten zurückzulegen hat. Die Kraft zur Bewegung des Stiftes dagegen muß viel größer sein, und diese wird nun durch die sogenannte Lokalbatterie L dargeboten, die bei der kurzen Leitung wenig geschwächt wird.

Gesch. Bem. Die Aehnlichkeit der elektrischen und magnetischen Erscheinungen hat stets auf eine Verbindung beider hingedeutet. Es ist bereits (G. B. zu § 56.) erwähnt, daß erst Gilbert den Unterschied beider aufgestellt hat. Irriger Weise hielt man gleich von Anfang an die Voltasche Säule für einen Magneten. Ueber diesen Zusammenhang hatte Oersted (geb. 1777 auf Langeland, gest. 1851 als Professor der Physik in Kopenhagen; namentlich ausgezeichnet durch eine geistvolle Naturauffassung, deren höchstes Bestreben es ist, aus den ewigen Gesetzen der Natur und ihrer

wundervollen Harmonie die Größe dessen zu ahnen, zu dessen Bilde der Mensch erschaffen wurde) beharrlich Versuche angestellt, und so bemerkte er endlich 1819, freilich in ganz anderer Weise, als er vermuthet, die oben angegebene Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel und veröffentlichte seine Entdeckung 1820. — Sömmering hat zuerst daran gedacht, den Galvanismus zu Telegraphen zu benutzen; aber erst nach Entdeckung des Elektromagnetismus ist der Gedanke ernstlich aufgenommen worden. Um die wirkliche Ausführung haben sich zuerst seit 1833 Gauß in Göttingen, Schilling von Kannstadt in Petersburg und Steinheil in München verdient gemacht. Der Letztere benutzte zuerst die Erde als Leiter. Die Anwendung eines Elektromagnetes als bewegende Kraft geschah zuerst von Morse 1832, wurde aber erst 1837 praktisch ausgeführt. Den Ueberträger erfand Wheatstone 1839, und 1840 den ersten Zeigertelegraphen.

§ 69. Elektrische Wirkungen durch Induktion.

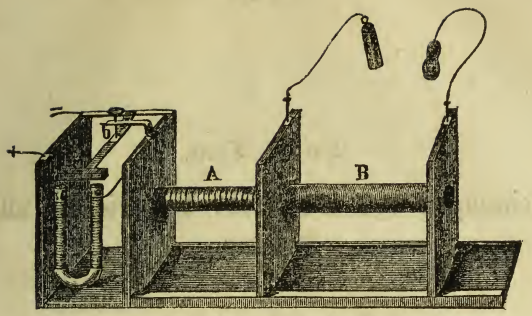
Fig. 121.



Hat man (Fig. 121.) zwei Spulen von Holz, von denen die eine in die andere gesteckt werden kann, und auf jeder von ihnen einen mit Seide umsponnenen Kupferdraht in zahlreichen Windungen gewickelt, so daß die Enden des einen Drahtes a (Hauptdraht) mit den Polen eines galvanischen Elementes in Verbindung stehen, während die Enden des andern b (Nebendraht) zu einem Multiplikator gehen, so entsteht in dem Nebendraht ein elektrischer Strom in dem Augenblicke, in welchem der Strom in dem Hauptdraht geschlossen oder geöffnet wird, und zwar ist er beim Schließen dem ursprünglichen entgegen, beim Oeffnen ihm gleichgerichtet. Man sagt, der zweite Strom sei durch den ersten inducirt, und nennt die in dem zweiten nur auf einen Augenblick wirkende Elektricität Induktionselektricität. Der inducirte Strom zeigt sich auch, wenn der Strom des Hauptdrahtes plötzlich verstärkt oder geschwächt, wenn derselbe dem Nebendraht durch Hereinstoßen oder Herausziehen der Spule a plötzlich genähert oder von ihm entfernt wird.

Diese Induktionselektricität zeigt nun besonders kräftige physiologische Wirkungen und wird daher vielfach von den Aerzten in Anwendung gebracht. Die zweckmäßigste Einrichtung für diesen Zweck hat der so genannte Schlittenapparat von du Bois-Reymond (Fig. 122.), in welchem A die Spirale des Hauptstromes, B die Induktionsspirale ist. Es kommt nun darauf an, den Hauptstrom recht oft hinter einander zu öffnen und zu schließen, da nur in diesen Augenblicken der Nebenstrom entsteht; dieses Geschäft nun läßt man durch den Hauptstrom vermittelst des magnetischen Hammers c in folgender Weise verrichten. Der Hauptdraht geht durch ein elastisches Messingblättchen, welches den Anker eines Elektromagneten trägt und in der Mitte mit einer kleinen Platinaplatte gegen eine Platinaspitze trifft, die die weitere Leitung nach der Spule des Hauptdrahtes, von da um den Elektromagneten und dann nach dem andern Pole des galvanischen Elementes übernimmt. Ist nun der Strom

Fig. 122.



geschlossen, so wird der Anker angezogen, dadurch aber auch die Platinaplatte b von dem Stifte getrennt und der Strom geöffnet. Hierdurch hört das Eisen auf magnetisch zu sein, und das Messingblättchen entfernt vermöge seiner Elasticität den Anker wieder von dem Magneten. Dadurch tritt aber der Stift wieder mit der Platte in Verbindung, der Strom wird geschlossen und das Spiel beginnt von neuem. Durch mehr oder weniger vollständiges Einschieben der Inductionsspirale kann die Kraft des inducirten Stromes auf die leichteste Weise geregelt werden, indem dieselbe um so größer ist, je mehr Windungen des Hauptstromes inducirend auf den Nebenstrom wirken, d. h. je vollständiger die Spirale B über die Spirale A geschoben ist.

Gesch. Bem. Diese Inductionselektricität ist 1831 von Faraday (G. B. zu § 66.) entdeckt worden, der überhaupt durch seine zahlreichen Versuche die gesammte Elektricitätslehre außerordentlich erweitert und den Zusammenhang der chemischen, elektrischen und magnetischen Kräfte nach den verschiedensten Richtungen hin nachgewiesen hat.

Aus dem, was in den letzten Paragraphen gelehrt worden ist, hat sich der innige Zusammenhang auf das deutlichste ergeben, der zwischen der chemischen Anziehung, dem Magnetismus und der Elektricität besteht; ein Zusammenhang, der durch eine Reihe anderer Erscheinungen noch weit auffallender hervorgetreten ist. Ebenso findet sich eine große Uebereinstimmung in den Gesetzen, welchen die hier betrachteten Naturkräfte folgen, und zwar zeigt sich dieselbe vorzüglich darin, daß jede dieser Kräfte sich nach zwei entgegengesetzten Seiten offenbart, deren gegenseitiges Verhalten unter dem Gesetze der Polarität steht. Diesen Gegensatz finden wir zwischen Säuren und Basen, zwischen dem Nord- und Südmagnetismus, zwischen positiver und negativer Elektricität. Zunächst befinden sich diese Kräfte in einem gebundenen Zustande, sie sind verborgen, schlummern; werden sie aber frei, so streben sie auch sogleich, sich wieder mit ihrem Gegensatz zu vereinigen; und in Folge dieses Bestrebens treten dann diejenigen Erscheinungen auf, welche wir in diesem Theile kennen gelernt haben.

Dritter Theil.

Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme.

Erster Abschnitt.

Erscheinungen des Schalles.

Erstes Kapitel.

Der Schall und die Töne im allgemeinen.

§ 70. Der Schall im allgemeinen.

Wenn wir mit dem Hammer auf den Tisch schlagen, ein Buch auf die Erde fällt, ein Wagen über die Steine fährt, so vernehmen wir einen Schall; ein Schall entsteht, wenn ein bewegter Körper einen andern stößt. Sehr häufig ist einer derselben die Luft; ebenso häufig ist es der Fall, daß beide Körper durch die Luft vertreten werden, indem bewegte Luft gegen ruhende stößt. Dies geschieht namentlich, wenn Luft aus einem Raume herausgetrieben wird, z. B. beim Herausspringen eines Korkes aus einer Bierflasche, bei einem Gewehrschuß[1], bei der Explosion des Knallgases, u. s. w., oder wenn umgekehrt die Luft in einen luftleeren oder luftverdünnten Raum hineinstürzt, z. B. bei dem Donner, bei dem Summen oder Pfeifen eines schnell durch die Luft bewegten Körpers, bei einer Papierklatsche u. s. w. — Geschehen diese Stöße sehr schnell und regelmäßig nach einander, d. h. folgen sich dieselben in gleichen, aber sehr kurzen Zwischenräumen, so entsteht ein Ton. Diese regelmäßigen Stöße werden gewöhnlich durch einen sich regelmäßig hin- und herbewegenden, d. h. schwingenden Körper hervorgebracht. Bei einer tönenden Saite sehen wir, daß dieselbe an den beiden Enden fest ist, während die Mitte sich zu beiden Seiten hin- und herbiegt. Derartige Schwingungen, bei denen der Körper sich krümmt, heißen transversale. Longitudinale sind dagegen diejenigen Schwingungen, bei denen sich der Körper in gerader Linie ausdehnt und zusammenzieht. Sind nemlich die Theile eines Körpers aus ihrer natürlichen Lage gebracht, so streben sie vermöge der Elasticität in dieselbe zurückzukehren; in Folge des Beharrungsgesetzes setzen sie aber ihre Bewegung noch weiter fort, und so entsteht ein Schwingen des Körpers,

welches genau in derselben Weise vor sich geht, als das Schwingen eines Pendels.

Anm. Wir wenden das in der Anmerkung zu § 6. Gesagte kurz auf die Bewegung einer Saite an: Wenn die Theile des schwingenden Körpers aus ihrer Lage gebracht sind, so strebt im allgemeinen die Elasticität, sie wieder zu derselben zurückzuführen. In den äußersten Punkten wirkt also nur die Elasticität; von den äußersten Punkten nach der Mitte zu die Elasticität vereint mit der Beharrung, also beschleunigend; in der Mitte nur die Beharrung; von der Mitte nach den äußersten Punkten die Elasticität entgegengesetzt der Beharrung, und daher verzögernd. Ferner wächst die Elasticität von der Mitte nach den äußersten Punkten zu, und nimmt in der umgekehrten Richtung ab; die Geschwindigkeit dagegen wächst von den äußersten Punkten, wo sie Null ist, nach der Mitte zu, ist in der Mitte am größten und nimmt von da aus wieder ab.

Man unterscheidet leicht den Ton einer Flöte von dem einer Violine; der Klang derselben ist verschieden. Man kann aber auf der Flöte selbst sehr verschiedene Töne hervorbringen, deren Klang derselbe ist; sie sind durch ihre Höhe verschieden. Hier werden wir uns vorzugsweise mit der Verschiedenheit der Töne in Bezug auf ihre Höhe beschäftigen, den Klang dagegen unberücksichtigt lassen; denn während jene sich auf ganz bestimmte und sehr einfache Gesetze zurückführen läßt, ist dies in Bezug auf die Verschiedenheit des Klanges nicht der Fall, welche vielmehr durch die Erfahrung in jedem einzelnen Falle erprobt werden muß. Man bemerkt, wenn ein Zwirnsfaden mäßig gespannt in eine zitternde oder schwingende Bewegung versetzt wird, daß diese zitternde Bewegung um so schneller wird, je stärker man den Faden spannt; sehr bald kann man diese Bewegung nicht mehr verfolgen; man hört dagegen einen Ton, der um so höher wird, je mehr man die Spannung vermehrt. Man schließt daraus, daß die Höhe des Tones zunimmt mit der Geschwindigkeit der Bewegung oder mit der Anzahl der Schwingungen, die der tönende Körper in einer bestimmten Zeit macht. Es ist höchst merkwürdig, daß die Höhe eines Tones allein von der Anzahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit abhängig ist. Wenn also beliebige Körper, Luft, Wasser, eine Darmsaite, eine Stahlsaite, die Zinken einer Stimmgabel in einer Sekunde die gleiche Anzahl von Schwingungen machen, so bringen sie auch Töne hervor, die nur in Hinsicht des Klanges für die einzelnen Körper verschieden sind, nicht aber in der Höhe. Und zwar ist der Ton um so höher, je größer die Anzahl dieser Schwingungen in der Sekunde ist.

§ 71. Die Tonverhältnisse.

Will man also die Höhe zweier Töne mit einander vergleichen, so betrachtet man die Anzahl der Schwingungen in der Sekunde; diese heißt kurz die Schwingungszahl. Stehen nun diese Schwingungszahlen in einem einfachen Verhältnisse, welches sich durch Zahlen von 1 bis 6 ausdrücken läßt, so bilden die beiden Töne eine Consonanz. Macht also eine Saite

in einer Sekunde 96, die andere 128 Schwingungen, so bilden die hervorgebrachten Töne (G und c) eine Consonanz (die Quarte), weil sich die Zahlen wie 3 : 4 verhalten. Dagegen geben zwei Saiten, deren Schwingungszahlen 128 und 144 sind (c und d), keine Consonanz, da ihr Verhältniß 8 : 9 ist. Die Verhältnisse der Schwingungszahlen für die auf einander folgenden Töne der gewöhnlichen Durtonleiter sind nun folgende:

Grundton,	Sekunde,	gr. Terz,	Quarte,	Quinte,	Sexte,	gr. Septime,	Oktave.
1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2.
24,	27,	30,	32,	36,	40,	45,	48.

Die darunter stehenden Zahlen geben diese Verhältnisse in ganzen Zahlen an. Während also der Grundton 1 Schwingung macht, macht die Quinte $1\frac{1}{2}$ Schwingungen, oder während jene 24 Schwingungen vollendet, macht diese 36.

Sehr bemerkenswerth sind noch diejenigen Töne, deren Schwingungszahlen sich wie die natürlichen Zahlen verhalten. Die Aufeinanderfolge derselben nennt man die natürliche Skala. Aus obigen Verhältnissen wird man für C als Grundton leicht die Richtigkeit folgender Töne für die entsprechenden Zahlen erkennen.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	8.	9.	10.	12.	15.	16.
$\underline{C}$	C	G	c	e	g	$\bar{c}$	$\bar{d}$	$\bar{e}$	$\bar{g}$	$\bar{h}$	$\bar{c}$

Den Zahlen 7, 11, 13, 14 entsprechen keine genauen Töne; für 7 und 14 ergeben sich Töne, etwas tiefer, als die Hauptseptime b und $\bar{b}$; für 11 ein Ton etwas höher, als $\bar{f}$, für 13 ein Ton etwas tiefer, als $\bar{a}$.

Anm. Die oben für die Durtonleiter gefundenen Zahlen wollen wir noch kurz aus den drei Hauptintervallen, der Oktave, Quinte und Terz, welche zugleich die einfachsten Verhältnisse haben, herleiten. 1) Das einfachste Verhältniß nächst dem der Gleichheit ist 1 : 2; findet dasselbe für 2 Töne Statt, so heißt der zweite die Oktave des ersteren. Macht also der erste in einer Zeit 24, so macht der andere in derselben Zeit 48 Schwingungen. 2) Verhalten sich die Schwingungszahlen zweier Töne wie 2 : 3, macht also der zweite 36, während der erste 24 macht, so heißt der zweite die Quinte des ersteren. Zugleich ergiebt sich, daß das Verhältniß der Schwingungszahlen der Quinte zur Oktave, nemlich 36 und 48, wie 3 : 4 ist; dann heißt der zweite Ton die Quarte des ersteren. Macht also der erste Ton 24 Schwingungen, so macht seine Quarte deren 32. Folglich verhalten sich die Schwingungszahlen der Quarte zur Quinte wie 32 : 36, oder wie 8 : 9; dann heißt der zweite die Sekunde des ersteren; doch ist dies keine Consonanz. Macht also der erste Ton 24, so macht seine Sekunde 27 Schwingungen. Zugleich ist ersichtlich, daß die Quinte des Grundtones die Quarte der Secunde ist, da ihre Schwingungszahlen sich wie 27 : 36, oder wie 3 : 4 verhalten. 3) Verhalten sich die Schwingungszahlen zweier Töne wie 4 : 5, so heißt der zweite die große Terz des ersteren. Die Terz macht also 30 Schwingungen, wenn der Grundton 24 macht. Zugleich bilden bekanntlich die drei Töne, Grundton, Terz, Quinte, deren Schwingungszahlen sich wie 4 : 5 : 6 verhalten, den großen Dreiklang. Ferner machte die Quarte 32 Schwingungen, folglich die große Terz derselben 40, und das Verhältniß der Schwingungszahlen des Grundtones und dieses neuen Tones, nemlich 24 und 40, ist 3 : 5; dann heißt der zweite die

Sexte des ersteren. Die große Terz der Quinte macht dagegen 45 Schwingungen; also ist das Verhältniß des Grundtones zu diesem wie 24 : 45 = 8 : 15; dann heißt der letztere die große Septime des ersteren Auf diese Weise sind sämmtliche obigen Schwingungszahlen hergeleitet. — Vergleichen wir noch die Zahlen für die Terz und Quinte, so erhalten wir das Verhältniß 30 : 36 = 5 : 6; der zweite Ton ist dann die kleine Terz des ersteren; dasselbe Verhältniß finden wir zwischen der Sexte und Oktave. Durch eine Vergleichung der Zahlen für die große Terz und die Quarte, oder die große Septime und die Oktave erhält man das Verhältniß 15 : 16, welches einem halben Tone entspricht. Verbindet man endlich die Quinte mit der Oktave der Quarte, also die Schwingungszahlen 36 und 64, so erhält man 9 : 16; der zweite Ton bildet dann die wichtigste Dissonanz der Musik, die Hauptseptime des ersteren. Wir stellen auch die Verhältnisse dieser Intervalle noch auf, von denen nur das erste eine Consonanz ist:

kleine Terz, halber Ton, Hauptseptime.

$\frac{6}{5}$, $\frac{16}{15}$, $\frac{16}{9}$.

Denkt man sich nun für Instrumente, welche, wie das Clavier seine Saiten, die Orgel ihre Pfeifen, für jeden Ton einen besonders gestimmten tönenden Körper haben, sämmtliche Töne der Skala für C dur nach jenen Verhältnissen gestimmt, so würden dieselben genau nur für diese Tonart passen. Da nemlich die Sekunde sich zur Terz wie 9 : 10, nicht wie 8 : 9 verhielte, würde E nicht genau die Sekunde von D sein, ebenso wenig die Sexte A die Quinte der Sekunde D ꝛc. Damit also ein solches Instrument für alle Tonarten brauchbar sei, darf es nicht genau nach jenen Verhältnissen gestimmt werden, und es werden daher die Abweichungen gleichmäßig auf alle Intervalle vertheilt, um sie für jedes einzelne dem menschlichen Ohre möglichst unmerklich zu machen. Diese Stimmung nennt man die gleichschwebende Temperatur. — Leicht kann man sich auch von der Richtigkeit der oben aufgestellten Töne der natürlichen Skala überzeugen. Die Schwingungszahlen der beiden ersten Töne verhalten sich wie 1 : 2, der zweite ist also die Oktave des ersteren; der zweite verhält sich zum dritten wie 2 : 3, der dritte ist also die Quinte des zweiten; der zweite zum vierten wie 2 : 4 oder 1 : 2, der vierte ist also die Oktave des zweiten; der vierte zum fünften wie 4 : 5, also ist der fünfte die große Terz des vierten ꝛc.

Zweites Kapitel.

Die Entstehung der Töne.

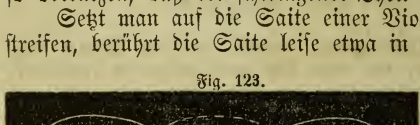
§ 72. Die Entstehung der Töne durch Schwingungen fester Körper.

Eine Saite wird auf sehr verschiedene Arten in transversale Schwingungen versetzt, z. B. durch Hämmer, die anschlagen, durch die Finger, welche die Saite nach der Seite ausdehnen, durch einen mit Colophonium bestrichenen Bogen ꝛc. Die Anzahl und Regelmäßigkeit der Schwingungen kann im letzteren Falle nicht durch den Strich bewirkt werden, sondern wird durch die Elasticität der Saite hervorgebracht; der gleichmäßige Strich ist aber nothwendig, um diese Regelmäßigkeit nicht zu stören. Man bemerkt leicht, daß die Saiten einer Violine verschiedene Töne hervorbringen; auch sind die Saiten äußerlich verschieden, man sieht, 1) die dickeren Saiten geben tiefere Töne; noch deutlicher tritt dies hervor, wenn man die Sai-

ten einer Violine und einer Baßgeige vergleicht. Ferner bemerkt man, daß 2) mit vermehrter Spannung die Höhe des Tones wächst. Verkürzt man endlich den schwingenden Theil der Saite, indem man die Saite mit dem Finger an verschiedene Stellen des Griffbretes andrückt, so erhält man Töne, die um so höher sind, je kürzer die Saite ist. Man bemerkt, daß, wenn man den Finger in der Mitte der Saite aufsetzt, der Ton die Oktave desjenigen ist, den die ganze Saite giebt. Die Oktave macht aber noch einmal soviel Schwingungen, als der Grundton; daher schließt man leicht, 3) die Schwingungszahlen verhalten sich umgekehrt, wie die Länge der Saiten. Soll also z. B. die Terz hervorgebracht werden, so muß man, da ihr Schwingungsverhältniß $1 : \frac{4}{5}$ ist, die Saite so verkürzen, daß der schwingende Theil $\frac{4}{5}$ der ganzen Saite beträgt.

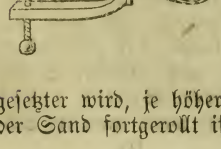
Setzt man auf die Saite einer Violine der Länge nach Papierstreifen, berührt die Saite leise etwa in c (Fig. 123.) so, daß $ac = \frac{1}{3}ab$ ist, und streicht mit dem Bogen die Saite an, so fallen die Papierchen theils herab, theils rücken sie nach d hin zusammen, wo $bd = \frac{1}{3}ab$ ist. Zugleich entsteht ein Ton, der hervorgebracht werden würde, wenn man die Saite in c fest andrückte, es ist die höhere Quinte. Man sieht, die ganze Saite ist in Schwingungen versetzt worden mit Ausnahme der Punkte c und d, welche man Schwingungsknoten nennt. Die Saite hat sich also in mehrere gleiche Theile getheilt, hier in drei; jeder derselben schwingt für sich und zwar so, daß je zwei anstoßende immer nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, die Theilpunkte selbst aber bleiben in Ruhe. Der hervorgebrachte Ton entspricht aber der Länge eines Theiles; daher muß die Schwingungszahl ein genaues Vielfache der Schwingungszahl der ganzen Saite sein; der Ton ist also ein Ton der natürlichen Skala zu dem Grundton der Saite. Auf solche Weise werden die sehr hohen Töne, welche man Flageolettöne nennt, hervorgerufen. Hierauf beruhen ferner die Töne der Aeolsharfe, deren gleichgestimmte Saiten durch den Luftzug entweder ganz, oder in mehrere Theile getheilt in Schwingungen versetzt werden und daher stets harmonirende Töne hervorbringen.

Fig. 123.



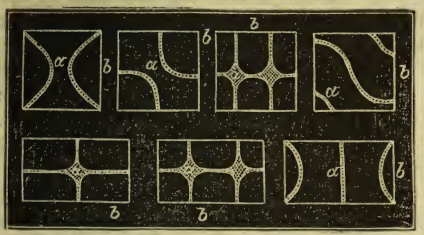
Schraubt man in der Vorrichtung Fig. 124. eine regelmäßig gestaltete Glasscheibe in einem Punkte fest ein, bestreut sie mit feinem Sande und streicht sie an einem Punkte des Randes mit dem Violinbogen, so entsteht ein Ton; dabei geräth der Sand in zitternde Bewegung und sammelt sich an gewissen Stellen an, so daß er eine regelmäßige Figur bildet. Jedem deutlichen Tone entspricht eine deutliche Figur, welche desto zusammengesetzter wird, je höher der Ton ist. Diejenigen Stellen, von denen der Sand fortgerollt ist, sind in Schwingungen versetzt worden, und

Fig. 124.



zwar in transversale,; diejenigen, auf denen der Sand sich gesammelt hat, blieben in Ruhe und bildeten Schwingungsknoten. Man sieht, die Scheibe hat sich in mehrere Theile getheilt, die zugleich so in Schwingungen versetzt worden sind, daß je zwei zusammenstoßende sich nach entgegengesetzten Richtungen bewegten, zwischen ihnen aber der Sand in Ruhe blieb.

Fig. 125.



In den beistehenden Figuren 125 giebt a die Punkte des Einspannens, b die Punkte des Streichens an. — Durch ähnliche transversale Schwingungen entstehen die Töne in Trommeln, Pauken, Glocken, Weingläsern, Stimmgabeln u. a. Die Zinken der letzteren schwingen transversal, und ebenso für sich der untere Theil der Krümmung.

Gesch. Bem. Diese Figuren heißen die Chladnischen Klangfiguren, nach dem namentlich um Akustik hochverdienten Chladni. Derselbe war 1756 in Wittenberg geboren, studirte Jura, widmete sich aber nach seines Vaters Tode ganz der Akustik. Mit zwei selbst erfundenen Instrumenten durchreiste er Europa und erwarb sich dadurch seinen Unterhalt, während er zu gleicher Zeit die interessantesten Untersuchungen über den Schall anstellte. Er verfocht auch besonders die jetzt von den Meisten angenommene Ansicht, daß die Meteorsteine eigene Körper im Himmelsraume seien, die ihren Ursprung weder auf der Erde, noch auf dem Monde haben. Er starb 1827 und hinterließ der Armenkasse seiner Vaterstadt noch ein bedeutendes Vermögen.

§ 73. Die Entstehung der Töne durch Schwingungen der Luft. — Die einzelnen Blaseinstrumente.

Eine sehr große Klasse der musikalischen Instrumente bilden die Blaseinstrumente. In ihnen wird die Luft in Schwingungen versetzt; daß nicht der feste Körper schwingt, ersieht man daraus, daß man denselben, ohne die Schwingungen zu stören, während des Tönens beliebig berühren kann. Durch Anblasen wird die Luft in eine zitternde Bewegung versetzt; sie wird in die Röhre ein wenig hineingestoßen und zusammengedrängt, dehnt sich aber bald wieder aus; die Luftsäule zieht sich also abwechselnd zusammen und dehnt sich wieder aus, so daß die entstehenden Schwingungen longitudinal sind (§ 70.). Es muß hierbei bemerkt werden, daß auch hier die Regelmäßigkeit der Schwingungen der Luftsäule, wie oben § 72. die der Schwingungen einer Saite, nicht durch ein regelmäßiges Anblasen, sondern nur durch die Länge der Säule bestimmt wird, daß aber ein gleichmäßiges Anblasen nothwendig ist, um jene anderweitig hervorgebrachte Regelmäßigkeit nicht zu stören. — Auch für diese Schwingungen gilt das für Saiten aufgestellte Gesetz: die Schwingungszahlen verhalten sich umgekehrt, wie die Länge der

schwingenden Luftsäulen, so daß also die Octave eines Tones einer Röhre entspricht, deren Länge die Hälfte der ersteren ist. Die einfachsten Beispiele für diese Luftschwingungen sind der Ton, den ein offener Schlüssel, ein Medicinglas, die Pfeifen der Papagenoflöte u. dergl. beim Anblasen geben. — An dem Waldhorne sieht man, daß eine und dieselbe Röhre verschiedene Töne hervorbringen kann. Dies hat man sich auf ähnliche Weise zu erklären, wie man gesehen, daß eine Saite verschiedene Töne geben kann. Es theilt sich nemlich die ganze Luftsäule in mehrere gleiche Theile, der Ton entspricht der Länge eines solchen Theiles; daher kann eine Röhre nur die Töne der natürlichen Skala ihres Grundtones hervorbringen. — Ist die Röhre am andern Ende geschlossen (gedeckt), so giebt sie denselben Ton, als wenn sie noch einmal so lang, aber offen wäre; daneben kann sie auch noch den 3ten, 5ten, 9ten .... Ton der natürlichen Skala für diesen Grundton geben. Man macht aber von diesen Nebentönen gedeckter Röhren in der Musik keinen Gebrauch.

Die vorstehenden Grundsätze können uns nun die Wirkung der üblichen Blaseinstrumente erklären. Die einfachsten derselben sind das Waldhorn und die Trompete. Die Luftsäule ist unveränderlich; aber durch stärkeres oder schwächeres Anblasen theilt sich die Luftsäule in eine Anzahl gleicher Theile, und man erhält so die verschiedenen Töne der natürlichen Skala. Der enge Kanal erleichtert die Theilung der Luftsäule dergestalt, daß es sehr schwer ist, den tiefsten oder eigentlichen Grundton dieser Instrumente zu erhalten; da die tiefsten Töne auch zu weit aus einander liegen (§ 71.), so werden sie nie angewendet. Durch Stopfen und Treiben können namentlich die Töne 7, 11, 13, 14 der natürlichen Skala modificirt werden. — Bei der Posaune werden die verschiedenen Töne dadurch gewonnen, daß man die Länge der Luftsäule durch Aus- und Einschieben verlängert. — Die Flöte. Die Oeffnung, an welcher die Luft durch Anblasen in Bewegung gesetzt wird, unterscheidet sich von den übrigen dadurch, daß sie eine scharfe Kante hat, an welcher sich der Luftstrom des Mundes bricht. Bekanntlich sind nun an der Flöte entlang mehrere Oeffnungen; die Länge der schwingenden Luftsäule reicht im allgemeinen bis zu dem ersten geöffneten Loche; sie ist also am längsten und der Ton am tiefsten, wenn alle Oeffnungen geschlossen sind; indem man von unten an eine Oeffnung nach der anderen öffnet, erhält man die Töne der ersten Oktave; die der zweiten bringt man durch dieselben Griffe hervor, wie die der ersten; man bewirkt aber durch verändertes Anblasen und durch gewisse Nebengriffe, daß sich die Luftsäule in zwei Theile theilt. Auf denselben Principen beruhen die Klappentrompeten ꝛc. — Fagott, Oboe, Klarinette u. a. ähnliche Instrumente, zu denen auch die Zungenpfeifen der Schnarrwerke in der Orgel gehören, bringen ihre Töne durch das Zusammenwirken zweier verschiedener Körper hervor. Zunächst wird nemlich durch einen Luftstrom ein elastisches Blättchen oder die Zunge in eine schwingende Bewegung gesetzt, wie man dies am besten an dem bekannten Aeolodikon und der Mundharmonika sehen kann. Diese Schwingungen theilen sich wieder der Luftsäule in

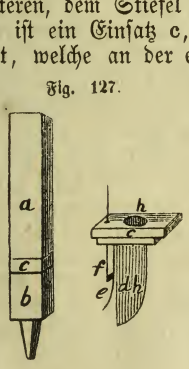
der damit verbundenen Röhre mit, und zwar dergestalt, daß sich die Schwingungen beider Körper gegenseitig modificiren. Die Verschiedenheit der Töne desselben Instrumentes wird wieder durch Verkürzung der Luftsäule bewirkt, die auf gleiche Art, wie bei der Flöte, geschieht. Auch das menschliche Stimmorgan scheint diesen Instrumenten zu entsprechen, indem die elastischen Stimmbänder durch die aus der Luftröhre strömende Luft in Schwingungen versetzt werden, der Ton aber durch die Luft der Mundhöhle verstärkt wird; daher besteht hier der wichtige Unterschied, daß die verschiedenen Töne nicht durch die Veränderung der Luftsäule, sondern durch das stärkere oder schwächere Anspannen der Stimmbänder bewirkt werden. Auf einem ähnlichen Vorgange beruht das Pfeifen mit den Lippen, welche die Stelle der elastischen Zunge vertreten.

§ 74. Die Orgel.

Schließlich mag noch eine Beschreibung der Einrichtung einer Orgel in ihren Haupttheilen folgen. Die Töne werden in Röhren, den Orgelpfeifen hervorgebracht. Zu jedem Tone gehört eine bestimmte Pfeife, so daß jede derselben nur einen einzigen Ton giebt. Man unterscheidet zwei wesentlich verschiedene Arten von Pfeifen, die Labial- oder Lippenpfeifen und die Zungenpfeifen. In den ersteren (Fig. 126.) trifft die Luft aus einem Fuße a durch eine schmale Ritze b gegen eine scharfe Kante, die obere Lippe c, bricht sich an derselben und setzt dadurch die Luft in der Röhre in Schwingungen. In den Zungenpfeifen (Fig. 127.) wird der obere Theil der Pfeife a von dem unteren, dem Stiefel b, durch das Mundstück c getrennt; das Mundstück ist ein Einsatz c, durch den eine hohle, oben offene Röhre hh geht, welche an der einen Seite eine längliche Oeffnung d, ähnlich einer Rinne hat, vor welcher eine elastische Zunge e von Blech liegt, die schwingend die Oeffnung abwechselnd schließt und öffnet. Durch die verschiebbare Krücke f kann der schwingende Theil des Bleches verkürzt oder verlängert werden. Dieses Mundstück paßt nun genau in den Stiefel; auf der oberen Oeffnung des ersteren befindet sich die Pfeife. Die in den Stiefel einströmende Luft bringt die Zunge zum Schwingen und tritt, so oft es die schwingende Zunge gestattet, durch die Rinne in das Mundstück und die Pfeife. Der Ton entsteht nun ähnlich, wie bei der Klarinette, indem die Schwingungen der elastischen Zunge und der Luft in der Pfeife sich gegenseitig modificiren. Die Höhe des Tones hängt also in beiden Fällen von der Länge der Röhre, bei den Zungenpfeifen aber auch ganz besonders von dem Tone der Zunge für sich ab. Die Art des Tones aber wird größtentheils durch die Weite und Gestalt der Röhren bestimmt, indem z. B. die engen Röhren einen

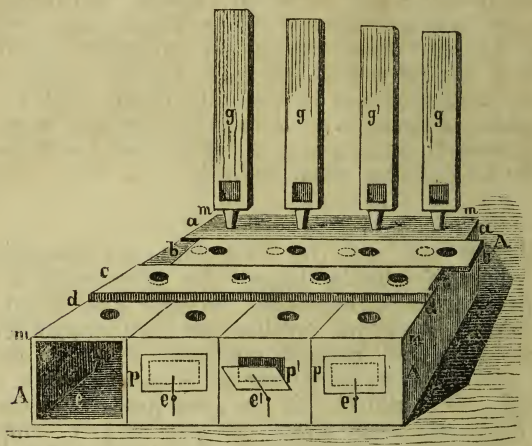
Fig. 126.

Fig. 127.



ſcharfen, durchdringenden Ton geben, die weiten einen vollen, runden Klang haben. Namentlich kommt es hierbei auch darauf an, ob die obere Oeffnung der Pfeife ganz oder zum Theil verſchloſſen wird und auf welche Weiſe dies geſchieht. — Diejenigen Pfeifen (Fig. 128.), die den

Fig. 128.



gleichen Charakter haben, bilden zuſammen ein Regiſter. Zu einem ſolchen Regiſter gehören die Pfeifen g, g .... Sie ſtehen in angemeſſener Entfernung neben einander mit ihren Füßen auf einem ſchmalen, unter ihnen verſchiebbaren Brete, Parallele genannt, in welchem zu jeder Pfeife eine entſprechende Oeffnung vorhanden iſt. Dieſe Parallelen ſieht man in aa, bb, cc; in der vorderſten Reihe iſt ſie abgenommen. Die Oeffnungen ſieht man in bb und cc. Wird das Regiſter nicht benutzt, ſo ſteht die Parallele ſo, daß die Füße der Pfeifen auf dem Holze des Bretes ſtehen, ſie iſt dann zur Seite geſchoben, wie bb; ſoll aber das Regiſter in Anwendung kommen, ſo wird durch einen Zug die Parallele ſo geſchoben, daß jede Pfeife des Regiſters über der zugehörigen Oeffnung der Parallele zu ſtehen kommt; ſie hat dann die Stellung, wie in aa oder cc. — Alle Regiſter, die auf derſelben Claviatur geſpielt werden, d. h. deren Pfeifen durch das Herabdrücken der Taſten derſelben Claviatur zum Tönen gebracht werden können, bilden ein Werk. Die Parallelen und daher auch die Pfeifen der Regiſter eines Werkes befinden ſich über einem gemeinſchaftlichen Boden mmm, der die Decke der Windlade AAA iſt. Dieſe Windlade, ein langer und breiter hohler Raum, iſt in eine Anzahl neben einander liegender, von vorn nach hinten gehender, länglicher Kaſten, Cancellen e, e .. genannt, getheilt. In der Figur bemerkt man die Vorderſeite von vier ſolchen Cancellen, in deren erſte man hineinſehen kann, da die Vorderwand weggenommen iſt. Diejenigen Pfeifen der verſchiedenen Regiſter nun, welche durch dieſelbe Taſte zum Tönen gebracht werden, ſtehen in gerader Linie hinter ein-

ander über einer solchen Cancelle, deren Decke mit einer Oeffnung für jede darüber stehende Pfeife versehen ist. Diese Oeffnungen sieht man in dd; in den Reihen bb, cc sind sie punktirt, weil sie durch die Parallelen bedeckt werden. Ist also die Parallele eines Registers gezogen, wie in aa, so stehen die Oeffnungen dieser Decke, der Parallele und des Fußes der Pfeife über einander; ist sie aber nicht gezogen, so wird die erste und letzte durch das Holz der Parallele getrennt. Diese Cancellen sind ohne Verbindung unter sich, haben aber nach vorn Oeffnungen in den Windkasten, welche durch Ventile p, p . . geöffnet und geschlossen werden können. Der Windkasten ist ein länglicher, nach allen Seiten luftdicht verschlossener Kasten, in welchen der Wind aus den Windkanal des Werkes tritt. Man muß sich denselben der Länge nach vor der Vorderseite der ganzen Figur hinzudenken. Jedes Werk hat nemlich seinen eigenen Windkanal, in welchen der Wind aus einem allen Werken gemeinsamen Kanal tritt, sobald die ihn schließende Klappe geöffnet wird. Von jeder Taste der Claviatur führt ein Zug (Abstracte) nach dem Ventil derjenigen Cancelle, aus welchem die dieser Taste entsprechenden Pfeifen den Wind erhalten, und öffnet dasselbe, wenn die Taste herabgedrückt wird. Soll also eine bestimmte Pfeife g′ zum Tönen gebracht werden, so muß zunächst der Windkanal des Werkes geöffnet sein; dann strömt der durch einen Blasebalg herausgetriebene Wind in den Kanal und in den Windkasten dieses Werkes. Hierauf muß das Register, zu welchem die Pfeife gehört, gezogen, d. h. die Parallele aa so verschoben werden, daß die entsprechenden Oeffnungen über einander stehen; endlich wird die bestimmte Taste herabgedrückt, dadurch öffnet sich das Ventil p′ der Cancelle e′, der Wind tritt aus dem Windkasten in dieselbe und durch die Oeffnungen des Cancellendeckels und der Parallele in den Fuß der Pfeife und bringt in ihr den verlangten Ton hervor. Die Hauptwirkung der Orgel beruht darauf, daß man, indem man mehrere Register zieht, durch eine Taste zugleich mehrere Pfeifen zum Tönen bringen kann, indem man ferner die Register verändert, auch den Klang und Charakter der Töne angemessen verändern kann.

§ 75. Die Verstärkung des Schalles durch Mitklingen.

Schlägt man eine Stimmgabel an, so bemerkt man nach dem ersten Klang einen schwachen Ton; derselbe ist aber sehr kräftig, sobald man sie mit ihrem Fuße auf den Tisch stemmt. Der letztere wird nemlich dadurch ebenfalls in eine zitternde, tönende Bewegung versetzt, und indem er mitklingt, verstärkt er den Ton. Dieses Mitklingen anderer Körper mit denjenigen, die zunächst den Ton hervorbringen, nennt man Resonanz. Bekannt ist der Resonanzboden eines Klaviers; setzt man auf denselben einen leicht beweglichen Körper, so bemerkt man, wenn gespielt wird, an der zitternden Bewegung desselben, daß der Resonanzboden ebenfalls an den Schwingungen Theil nimmt. Derselbe ist nun dazu bestimmt, den Ton des Instrumentes zu verstärken, eben dazu dienen die Körper der Violine und der übrigen Saiteninstrumente, deren Werth vorzüglich von der Güte dieser mitklingenden Körper abhängt. Da die Saiten nemlich

nur eine geringe Ausdehnung haben, so ist es für diese Instrumente ganz besonders nöthig, daß die durch die Saiten veranlaßten Schwingungen durch die mitklingenden größeren Massen eine kräftige Verstärkung erfahren. Dagegen haben die Blaseinstrumente keine Resonanzböden, wenn auch der Stoff der Röhren nicht ganz ohne Einfluß ist und ebenfalls an den Schwingungen Theil nimmt. Umgekehrt dient die große, von einer Glocke eingeschlossene Luftsäule derselben als ein kräftig mitklingender Körper. Auf dieser Theilnahme an den Schwingungen andrer Körper beruht das Beben der Pfeiler und Mauern, das Zittern der Fensterscheiben beim Läuten der Glocken und beim Orgelspiel, das Mitklingen solcher Saiten, die schon für sich Töne der natürlichen Skala des angeschlagenen Tones geben, das stärkere Mitklingen einer Luftsäule in einem Medicinglase, wenn man die Stimmgabel über die Oeffnung hält, besonders dann, wenn der Ton der Luftsäule schon beim Anblasen einen dem Tone der Stimmgabel verwandten Ton giebt u. a.

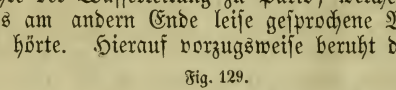
Drittes Kapitel.

Die Fortpflanzung des Schalles.

§ 76. Die Abnahme der Stärke und die Geschwindigkeit des Schalles.

Man hat gesehen, daß ein Körper in Schwingungen versetzt werden muß, wenn ein Ton entstehen soll. Damit aber diese Schwingungen zum Ton selbst werden, ist es nothwendig, daß sie von dem geeigneten Organe, dem Ohre, wahrgenommen werden, indem dasselbe ebenfalls in Schwingungen versetzt wird. Die Vermittelung geschieht nun durch andre Körper, gewöhnlich die Luft, welche durch den tönenden Körper in Bewegung gesetzt diese Schwingungen fortpflanzt. Fehlt ein solcher Körper, so können auch die Schwingungen nicht fortgepflanzt werden; daher hört man einen Ton nicht, der unter dem Recipienten einer Luftpumpe (§ 32.) in sehr luftverdünntem Raume hervorgebracht worden ist. Bei der Fortpflanzung des Schalles unterscheidet man Stärke und Geschwindigkeit des Schalles. Da sich die Schwingungen um den schallenden Körper nach allen Richtungen hin fortpflanzen, so muß die Stärke mit der Entfernung abnehmen, wie es auch die tägliche Erfahrung hinreichend bestätigt. Ist dagegen der Schall gehindert, sich nach den Seiten auszubreiten, so pflanzt sich der Schall mit wenig verminderter Stärke fort, so in den Communicationsröhren. Am bekanntesten ist Biots Versuch, der durch eine Röhre der Wasserleitung zu Paris, welche fast 3000 Fuß lang war, jedes am andern Ende leise gesprochene Wort und das Ticktack der Uhr hörte. Hierauf vorzugsweise beruht die Wirkung des von Morland 1670 erfundenen Sprachrohrs (Fig. 129.), welches dazu dient, den Schall auf weite Entfernungen fort-

Fig. 129.



zupflanzen, z. B. die Unterhaltung zweier auf dem Ocean sich begegnenden Schiffe zu vermitteln. Die Gestalt desselben hindert nemlich den Schall, sich im Anfange auszubreiten und bewirkt, daß die Schwingungen auch außerhalb der Röhre sich in der Richtung derselben, mit besondrer Stärke fortpflanzen.

Hierbei ist aber die Abnahme der Stärke, so weit sie von dem fortpflanzenden Körper abhängig ist, noch nicht berücksichtigt. Man erkennt aber diese größere oder geringere Abnahme aus der Entfernung, in welcher ein bestimmter Schall noch hörbar ist. Man hat bemerkt a) für die Luft, daß der Schall verstärkt wurde, oder vielmehr in geringerem Grade geschwächt wurde bei kalter und trockener Luft; so unterhielt sich Foster bei der Nordpolexpedition des Capitain Parry bei Nacht und einer Temperatur von —22° R. mit einem Manne in der Entfernung von ¼ Meile, während man die menschliche Stimme sonst nur bis auf 800 Fuß zu verstehen pflegt; ebenso hört man das Geläut entfernter Glocken desto heller, je deutlicher die Sterne erscheinen, je klarer und trockener nemlich die Luft ist. Der Schall verliert an Stärke desto mehr, je dünner die Luft ist, wie sich unter dem Recipienten einer Luftpumpe zeigt; daher hörte man den Schuß einer Pistole auf dem Mont Blanc ungewöhnlich schwach, und Gay Lussac bemerkte auf seiner Luftreise (G. B. zu § 33.) eine bedeutende Verminderung der Stärke der Stimme. — Der Einfluß des Windes ist jederzeit schwächend; man hört daher die Glocken einer entfernten Stadt am weitesten bei ganz windstillem Wetter, nicht gerade, wenn, wie man glaubt, der Wind aus jener Richtung weht; freilich am schwächsten, wenn er die entgegengesetzte Richtung hat. b) In festen und flüssigen Körpern ist die Stärke der Fortpflanzung des Schalles bedeutender. Stemmt man auf eine Uhr einen Stab, den man in den Mund nimmt, so hört man das Picken der Uhr viel stärker; ein Löffel, an einem Bindfaden aufgehangen, den man mit den Zähnen festhält oder ins Ohr drückt, giebt beim Anschlagen einen überraschend starken Ton. Besonders wichtig für Aerzte ist das Stethoskop, eine kleine enge Röhre, welche mit dem einen tellerförmigen Ende auf die einzelnen Körpertheile, namentlich die Brust, gestemmt, mit dem andern in das Ohr gehalten wird, um aus der Art, wie sich der Schall im Innern zeigt, auf das Innere des Körpers selbst zu schließen. Aus demselben Grunde legt man sich auf die Erde, um entferntes Geräusch zu vernehmen, und ist auf diese Weise im Stande, Kanonendonner auf 20—30 Meilen zu hören; ja man hat, 1832 die Kanonade von Antwerpen im sächsischen Erzgebirge in einer Entfernung von 80 und den vulkanischen Ausbruch des Coseguina in Guatemala 1835 auf 200 deutsche Meilen gehört. — Am meisten wird der Schall geschwächt, wenn er genöthigt ist, aus einem Körper in einen andern, z. B. aus Luft in Wasser, überzugehen. Daher wird der Schall besonders durch Körper, welche Luft zwischen sich enthalten, durch Wolle, Federn, Tapeten u. a. vermindert, während im Gegentheil eine feste Wand durch Resonanz den Ton zu verstärken pflegt. Da nun am Tage die Luft weit un-

gleicher erwärmt ist, als in der Nacht, sich also dichtere und dünnere Luftmassen neben einander befinden, so wird der Schall auch am Tage mehr geschwächt, als in der Nacht, indem er durch mehrere verschiedene Schichten zu gehen hat. Noch mehr trägt aber dazu bei, daß in der Nacht, wo das Auge seine Dienste versagt, das Ohr weit gespannter und für alle Eindrücke empfindlicher ist, als am Tage. Daß die Stille keineswegs der einzige Grund dafür sei, daß man in der Nacht besser hört, als am Tage, hat sich in den Urwäldern Amerikas gezeigt, wo beim Einbruche der Nacht das Summen der zahllosen Insekten und der Lärm der brüllenden Thiere beginnt, nichts desto weniger aber von Humboldt die gleiche Erfahrung gemacht worden ist.

Der zweite Punkt, der zu berücksichtigen ist, ist die Geschwindigkeit. Daß die Fortpflanzung des Schalles keineswegs augenblicklich geschieht, hat man oft Gelegenheit zu beobachten. Man hört den Schall der Axt des Holzhauers erst eine Weile, nachdem man sie hat fallen sehen. Am deutlichsten sieht man es an der unregelmäßigen Bewegung eines nach der vorausgehenden Musik marschirenden Regimentes; denn da Jeder, sobald er den Takt beginnen hört, seinen linken Fuß aufsetzt, so muß der entfernter: Soldat, weil er den Ton später hört, auch erst später auftreten, als die der Musik näheren. Die Höhe der verschiedenen Töne hat, wie man leicht bemerkt, keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit; man hört die Töne eines Musikstückes in der Entfernung nicht zu derselben Zeit, aber in derselben Aufeinanderfolge, als am Orte des Entstehens. Die Größe der Geschwindigkeit ist vielfach und zwar in folgender Weise bestimmt worden. Auf zwei Bergen oder Anhöhen, deren Entfernung man kannte, wurden in festgesetzten Zwischenräumen nach sehr genauen Uhren entweder abwechselnd von dem einen und von dem andern Berge, oder noch besser gleichzeitig Kanonen abgefeuert. Die Lichterscheinung bestimmte auf das genaueste den Augenblick der Entstehung des Schalles, und man bemerkte nun den Zeitpunkt, in welchem der Schall auf dem zweiten Berge gehört wurde. Der Unterschied gab die Zeit, welche der Schall gebraucht hatte, um den genau bekannten Weg zurückzulegen. Indem man die Resultate verglichen und das Mittel aus ihnen berechnet hat, hat man gefunden, daß der Schall in 1 Sekunde (bei 0° Réaum.) einen Weg von 1022 par. oder c. 1060 preuß. Fuß zurücklege. Dieselbe vermehrt sich für jeden Grad Wärme um etwa 2 F. — Wärme und Feuchtigkeit vermehren nemlich die Geschwindigkeit der Fortpflanzung. So hörte man auf Parry's Nordpolexpedition in der Richtung des Schusses erst den Schall des abgefeuerten Geschützes, der eine ziemliche Strecke durch die warme Luft fortgepflanzt worden war, und erst nachher das Kommando: Feuer. In festen und flüssigen Körpern ist die Geschwindigkeit des Schalles viel bedeutender. So hat man sie auf dem Genfer See 4570 preuß. Fuß gefunden. Für die festen Körper hatte Biot in der oben erwähnten Röhre der Wasserleitung bemerkt, daß ein an dem einen Ende durch Anschlagen eines Hammers entstandener Schall einmal durch die gußeiserne Röhre, dann 2½ Sekunde

später durch die Luft ankam; danach ergab sich, daß der Schall in der Röhre etwa zehnmal schneller ging, als in der Luft.

Gesch. Bem. Die erste, noch sehr ungenaue Angabe der Schallgeschwindigkeit wurde 1635 von Mersenne (G. B. zu § 77.) gemacht; die genauesten sind 1823 auf zwei Anhöhen in der Nähe von Utrecht von den Professoren Moll und van Beek mit Tertienuhren angestellt worden. Die Schüsse geschahen mit solcher Genauigkeit gleichzeitig an beiden Stationen, daß der größte Unterschied nur 2 Sekunden betrug. Die Versuche wurden 4 Tage lang fortgesetzt; nur am letzten konnte man die Schüsse an beiden Orten hören, und die darauf gegründete Berechnung gab auch das genaueste Resultat.

§ 77. Das Echo.

Treffen die durch die Luft fortgepflanzten Schwingungen gegen eine Fläche, z. B. einen Berg, eine Mauer, einen Wald, eine Wolke, so werden sie von ihr nach denselben Gesetzen zurückgeworfen, die wir bei der Spiegelung der Lichtstrahlen (§ 81.) näher angeben werden, und es entsteht dadurch ein dem ursprünglichen gleicher Schall, der eben so weit hinter der Wand herzukommen scheint, als sich der tönende Körper vor derselben befindet. Da das Ohr höchstens 9 Laute in einer Sekunde zu unterscheiden vermag, so muß der folgende erst $\frac{1}{9}$ Sekunde nach dem vorhergehenden eintreten. Um also das Echo von dem ursprünglichen Tone zu unterscheiden, muß dasselbe $\frac{1}{9}$ Sekunde nach jenem eintreffen, der Schall also einen Weg von $\frac{1060}{9}$ Fuß zurückgelegt haben. Da dieser Weg nun, wenn der Rufende auch der Hörende sein soll, aus der doppelten Entfernung der Wand besteht, so muß diese selbst $\frac{1060}{18}$ Fuß oder etwa 57—60 Fuß entfernt sein.

Man unterscheidet 1) mehrsilbige Echos, wobei mehrere Silben nach einander von einer Wand zurückgeworfen werden; dieselbe muß daher um so weiter entfernt sein oder der Ton erst nach mehrfachem Hin- und Hergehen zwischen verschiedenen Wänden zurückkehren; 2) mehrfache Echos, bei denen derselbe Ton von mehreren Seiten oder aus mehreren Entfernungen wiederhallt; dazu sind dann mehrere Wände, etwa mehrere Berge, nothwendig. Ein berühmtes Echo, welches zugleich mehrsilbig und mehrfach ist, bringen die Adersbacher Felsen in Böhmen hervor, indem dort sieben Silben von drei verschiedenen Seiten wiederholt werden.

Es giebt Gewölbe, durch welche der Schall, der von einem Punkte nach allen Richtungen ausgeht, nach einem andern Punkte ungeschwächt zurückgeworfen wird. In solchen hört man daher ein an der ersten Stelle gesprochenes Wort deutlich an der anderen oft sehr weit entfernten Stelle, während es an allen übrigen Stellen ganz unhörbar bleibt. Dasselbe findet Statt, wenn man zwei Hohlspiegel (§ 82.) einander genau gegenüberstellt und in den Brennpunkt des einen z. B. eine Uhr bringt, deren Ticken ein in dem Brennpunkte des andern befindliches Ohr deutlich hört. Hieraus ergiebt sich zugleich die Richtigkeit der obigen Behauptung der Gleichheit der Gesetze für die Zurückwerfung des Schalles und des Lichtes.

Gesch. Bem. zu der Lehre vom Schalle. Schon Aristoteles erklärte die Entstehung des Schalles durch die Bewegung der Luft und Vitruvius vergleicht die Fortpflanzung desselben sehr genau mit den Bewegungen der Wasserwellen; ebenso haben bereits die Alten eine sehr genaue Erklärung des Echos gegeben. Dagegen scheint die Nothwendigkeit von Schwingungen zur Erzeugung eines Tones erst später erkannt zu sein und ist wohl zuerst von Baco von Verulam ausgesprochen worden. Dieser, geb. 1561, gest. 1626, einer der größten Geister Englands, dessen Ruhm jedoch durch seine Charakterschwäche verdunkelt wird, hat, indem er den wissenschaftlichen Bestrebungen ein praktisches Ziel in der Milderung der Leiden und Vervollkommnung der Annehmlichkeiten des Lebens steckte und daher alle Untersuchungen von müßigen theoretischen Speculationen ab auf die Ergründung der wahren Thatsachen verwies, der gesammten Wissenschaft eine andere Richtung gegeben und namentlich bewirkt, daß für alle Naturwissenschaften eine sichere Grundlage nur in der sorgfältigen Beobachtung der Natur selbst gesucht worden ist. Mersenne stellte zuerst 1636 die Gesetze über die Schwingungen der Saiten auf, bestimmte sogar die Anzahl der Schwingungen für einen gewissen Ton und bemerkte das Mitklingen der Saiten. — Ueber die durch Luftschwingungen erzeugten Töne und die wellenförmige Fortpflanzung derselben stellte Newton (G. B. zu § 7.) die ersten genauen mathematischen Untersuchungen an, und diese Theorie wurde dann von den berühmtesten Mathematikern des vorigen Jahrhunderts wesentlich vervollkommnet und erweitert; neuerdings aber hat die gesammte Wellenlehre durch die Gebrüder Ernst und Wilhelm Weber eine umfassende, durch ausgedehnte Versuche erläuterte Behandlung erfahren. (Jener, geb. 1795 in Wittenberg, ist Prof. der Anatomie in Leipzig, dieser, geb. 1804 in Wittenberg, war Prof. der Physik in Göttingen, und stellte als solcher in Gemeinschaft mit Gauß (G. B. zu § 55.) die magnetischen Beobachtungen an, wurde 1837 aus Göttingen vertrieben, lebt aber seit 1849 wieder in seiner früheren Stellung.

Zweiter Abschnitt.

Erscheinungen des Lichtes.

Erste Abtheilung. Die ungehinderte Fortpflanzung des Lichtes.

§ 78. Die gradlinige Fortpflanzung des Lichtes.

Alle Körper, welche wir sehen, sehen wir entweder dadurch, daß sie selbst leuchten, wie die Sonne, das Kerzenlicht u. a., oder dadurch, daß sie erleuchtet werden. Das Sonnenlicht ist das stärkste, welches wir kennen. Das kräftigste Licht, welches wir selbst hervorzubringen im Stande sind, ist das elektrische Licht (§ 66.), nächst ihm, aber viel schwächer, das Drummondsche Kalklicht, welches entsteht, wenn Kreide in der Flamme des Knallgases zum Glühen gebracht wird (§ 36. und 87.). — Ein leuchtender Punkt ist nach allen Seiten sichtbar, wenn nicht in gerader Linie zwischen unserm Auge und dem leuchtenden Gegenstande ein Körper den Durchgang des

Lichtes verhindert. Die Fortpflanzung des Lichtes geschieht von dem leuchtenden Punkte aus nach allen Seiten in geraden Linien. Eine solche gerade Linie, in welcher sich das Licht fortpflanzt, nennt man einen Lichtstrahl. Man schließt daher, wenn ein Gegenstand einen andern verdeckt, so daß wir den letzteren nicht sehen können, daß beide sich mit dem Auge in gerader Linie befinden. — Denken wir uns nun einen leuchtenden Punkt in A (Fig. 130.), so werden diejenigen Strahlen, welche den Quadratzoll a in der Entfernung von 1 Fuß treffen, sich in der Entfernung von 2 Fuß auf 4, in der Entfernung von 3 Fuß auf 9 Quadratzoll ausbreiten. Ein Quadrat b erhält also nur $\frac{1}{4}$, c nur $\frac{1}{9}$ der Strahlen welche a erhalten hat. Daraus ergiebt sich als Gesetz: die Stärke der Erleuchtung verhält sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Hierauf beruht die Einrichtung der verschiedenen Photometer, welche dazu dienen, die Stärke verschiedener Lichtquellen zu vergleichen. Ein solches besteht z. B. in einer Papierscheibe, die einen Stearinfleck zum Mittelpunkte hat und auf einem Stativ in einer eingetheilten Rinne verschiebbar ist. Man verrückt diese Scheibe zwischen den beiden zu vergleichenden Lichtquellen, bis der Fleck von der übrigen Scheibe nicht zu unterscheiden ist; dann muß die Beleuchtung von beiden Seiten gleich stark sein. Wäre nemlich die Vorderfläche heller beleuchtet, so würde der durchscheinende Fleck dunkler, im entgegengesetzten Falle heller erscheinen, als die Scheibe. Hat man diese Stellung gefunden, so hat man nur die Entfernung der Scheibe von beiden Lichtquellen zu messen und darauf das obige Gesetz anzuwenden. Ferner sieht man leicht, daß die Fläche AB (Fig. 131.) mehr Strahlen von O erhält, als die gleich großen Flächen BC und BD, oder daß die Menge der auffallenden Strahlen und daher die Stärke der Erleuchtung desto größer ist, je mehr sich die Winkel, welche die Strahlen mit der Fläche bilden, einem Rechten nähern.

Fig. 130.

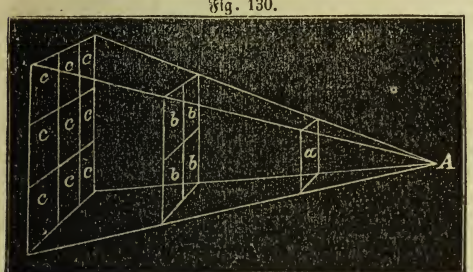
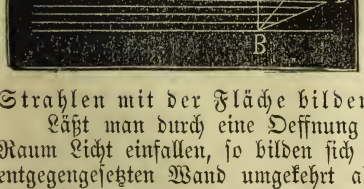
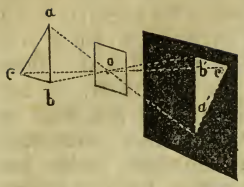


Fig. 131.



Läßt man durch eine Oeffnung o (Fig. 132.) in einen dunklen Raum Licht einfallen, so bilden sich die äußeren Gegenstände auf der entgegengesetzten Wand umgekehrt ab. Die von jedem Punkte des Gegenstandes acb durch die Oeffnung o gehenden Strahlen bilden nemlich ein vergrößertes, aber sehr schwach erleuchtetes Bild der Oeffnung auf der Wand, und zwar a in a', c in c', b in b' ꝛc. Da

Fig. 132.



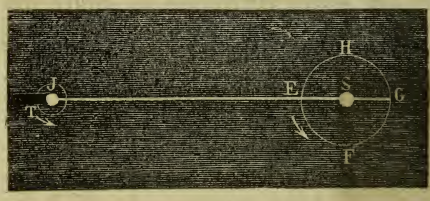
dies nun von jedem Punkte gilt, so bedecken sich die Bildchen und setzen sich zu einem Gesammtbilde zusammen, welches verkehrt, aber dem äußeren Gegenstande entsprechend ist, dessen einzelne Punkte jedoch verwischt sind. Darum bilden sich, wenn das Licht der Sonne zwischen den Blättern der Bäume und Sträucher hindurchfällt, gewöhnlich auf dem Boden kleine runde Sonnenbildchen ab. Zur Zeit einer Sonnenfinsterniß aber, bei welcher uns nur ein sichelförmiger Theil der Sonne sichtbar ist, erscheinen diese Bildchen ebenfalls alle sichelförmig, und zwar öffnet sich die Sichel nach der entgegengesetzten Seite. — Man kann sich übrigens leicht solche verkehrte Bilder sichtbar machen, wenn man eine Röhre aus Pappe verfertigt, in welcher eine andere, hinten offene, vorn mit Seidenpapier beklebte Röhre verschiebbar ist. Durch eine kleine Oeffnung in der Vorderwand der ersten Röhre treten die Lichtstrahlen ein und bilden auf dem Seidenpapier die äußeren Gegenstände ab, die man nun durch die kleine Röhre beobachten kann. — Die Undeutlichkeit der Bilder nimmt mit der Größe der Oeffnung zu, weil die von den einzelnen Punkten gebildeten Bilder desto weiter über einander greifen. So bemerkt man in einem Parterrezimmer bei einem vorüberfahrenden Wagen an der Gegenwand nur einen schwachen Schein in der entgegengesetzten Richtung vorüberziehen.

Gesch. Bem. Die obige Erklärung der Sonnenbildchen hat schon der mathematisch gebildete Mönch Maurolykus im 16. Jahrhundert gegeben.

§ 79. Die Geschwindigkeit des Lichtes.

Die Geschwindigkeit des Lichtes hat Olaus Römer durch Beobachtung der Trabanten des Jupiter gefunden. Diese Trabanten T (Fig. 133.) gehen um den Jupiter J in ziemlich schneller Zeit und werden mit Ausnahme des letzten bei jedem Umlaufe verfinstert. Man kann den Augenblick beobachten, wo der Trabant in den Schatten des Jupiter ein-, oder aus ihm heraustritt. Beobachtet man zweimal nach einander diesen Augenblick des Ein- oder Austrittes, so findet man aus der zwischen den beiden Ein- oder Austritten verflossenen Zeit die Umlaufszeit des Trabanten, welche für den dem Jupiter nächsten fast $42\frac{1}{2}$ Stunde beträgt. — Stellt man diese Beobachtung und Berechnung an, wenn die Erde E zwischen der Sonne S und dem Jupiter J steht und berechnet danach, wann der 100ste Austritt des Trabanten erfolgen müßte, was etwa nach einem halben Jahre geschehen

Fig. 133.



wird, wo also die Sonne zwischen Jupiter und Erde zu stehen kommt, so findet dieser Austritt ungefähr 16½ Minute später Statt. Dagegen ist die Dauer des Umlaufes selbst hier ebenso groß, als bei der ersten Beobachtung. Berechnet man ferner den 200sten Austritt, wo die Erde ungefähr wieder ihre erste Stellung zu Sonne und Jupiter einnimmt, so stimmt die Berechnung mit der Beobachtung überein. — Hieraus ergiebt sich, daß die scheinbare Verzögerung bei dem hundertsten Austritte nicht aus einem Fehler in der Berechnung der Umlaufszeit herrührt. Der Grund liegt vielmehr darin, daß das Licht von dem Trabanten im zweiten Falle einen weiteren Weg zurückgelegt hat, als im ersten und dritten. Der Unterschied der Wege ist aber gleich dem Durchmesser der Erdbahn oder etwa 40 Millionen Meilen; da nun das Licht 16½ Minute oder etwa 1000 Sekunden gebraucht hat, so ist die Geschwindigkeit desselben in 1 Sekunde etwa 40000 Meilen.

Anm. Es ist sichtbar, daß die Verzögerung nicht auf einmal, sondern nach und nach Statt gefunden haben muß; daraus folgt, daß, wenn auch die Umlaufszeit bei der ersten und hundertsten Beobachtung übereinstimmt, sie doch in der Zwischenzeit größer gewesen sein muß. Die Erklärung ergiebt sich leicht, wenn man bedenkt, daß nicht die wirkliche Umlaufszeit des Trabanten sich ändert, sondern nur die scheinbare, welche durch die Beobachtung gefunden wird. Während sich nemlich die Erde in E und G befindet, entfernt sich die Erde während eines Umlaufes des Trabanten nicht merklich von dem Jupiter; in F dagegen ist dieses Entfernen während eines solchen Umlaufes am stärksten; hier hat also das Licht bei jedem folgenden Austritt aus der Verfinsterung einen etwas größeren Weg zurückzulegen, als bei dem vorhergehenden; der Umlauf wird also hier am längsten erscheinen. Die beobachtete Dauer eines Umlaufes wird daher von E nach F zugenommen haben, dann von F nach G wieder abnehmen, und in G eben so lange dauern, als in E; dagegen nimmt von nun an die Umlaufszeit, da sich die Erde dem Trabanten nähert, ab, wird am kleinsten in H, wo die Näherung (nicht die Nähe) am größten ist, und nimmt dann wieder zu. Von E nach G ist also die Umlaufszeit fortwährend größer, und dies giebt zusammen eine endliche Verzögerung von 16½ Minute; dagegen ist von G nach E die Umlaufszeit kleiner, als die wirkliche in E und G, und dies hebt jene Verzögerung wieder auf, so daß endlich der Austritt des Trabanten wieder zur bestimmten Zeit erfolgt.

Gesch. Bem. Die Beobachtung der Jupitertrabanten war längere Zeit mit großem Fleiße in Paris von Cassini und Römer angestellt worden; man hatte bemerkt, daß die Summe der beobachteten Austritte größer war, als die der beobachteten Eintritte. Römer berücksichtigte, daß jene beobachtet wurden, während die Erde sich vom Jupiter entferne, die Eintritte, wenn sie sich ihm nähere, und kam so darauf, den Grund jener Unregelmäßigkeit darin zu suchen, daß die Fortpflanzung des Lichtes nicht augenblicklich geschehe. Olaus Römer war 1644 zu Kopenhagen geboren, lebte aber lange Zeit zu Paris, wo er Mitglied der neuen Akademie wurde und ihr 1675 jene Entdeckung mittheilte. Später wurde er in sein Vaterland zurückgerufen und starb daselbst 1710 hochgeehrt. Auf andere Beobachtungen und Schlüsse gestützt, welche der Anhang enthält, hat der englische Astronom Bradley i. J. 1727 nachgewiesen, daß auch für alle Fixsterne die Geschwindigkeit des Lichtes dieselbe ist. Durch sehr sinnreich angestellte Versuche haben die französischen Physiker Fizeau und Foucault, der erstere im Jahre 1849 auf den Raum einer Meile, der andere im Jahre 1862 sogar innerhalb eines Zimmers die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmt, und

hat sich im letzteren Falle dieselbe etwas größer herausgestellt, als man bisher angenommen hatte. Foucault hatte bereits 1854 nachgewiesen, daß sich das Licht im Wasser langsamer fortpflanze, als in der Luft.

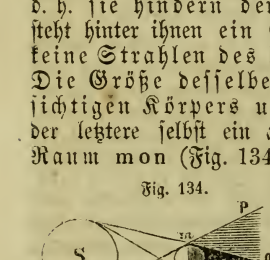
Zweite Abtheilung. Erscheinungen, wenn die Fortpflanzung des Lichtes durch undurchsichtige Körper gehindert wird.

Erstes Kapitel.

§ 80. Der Schatten.

Bis jetzt haben wir nur die ungehinderte Fortpflanzung der Lichtstrahlen betrachtet. Die meisten Körper sind aber undurchsichtig, d. h. sie hindern den Durchgang der Strahlen. Daher entsteht hinter ihnen ein Schatten, d. h. ein Raum, in welchen keine Strahlen des leuchtenden Punktes gelangen können. Die Größe desselben wächst mit der Größe des undurchsichtigen Körpers und mit der Nähe des leuchtenden. Da der letztere selbst ein ausgedehnter Körper ist, so giebt es einen Raum mon (Fig. 134.) in welchen gar keine Strahlen des leuchtenden Körpers S gelangen, derselbe heißt Kernschatten, und einen Raum pmonq, in welchen nicht von allen zugewendeten Punkten des leuchtenden Körpers Strahlen gelangen, dieser heißt Halbschatten. Der letztere ist offenbar desto dunkler, je weniger Strahlen er empfängt, oder je näher er der Grenze des Kernschattens liegt. — Auf diesen Gesetzen beruhen die Sonnen- und Mondfinsternisse. Eine Mondfinsterniß entsteht, wenn der Mond in den Kernschatten der Erde tritt. Dieselbe ist total, wenn der ganze Mond, partial, wenn nur ein Theil des Mondes in den Kernschatten tritt; da im letzteren Falle der übrige Theil im Halbschatten steht, so glänzt er auch matter, als sonst. Sichtbar ist die Mondfinsterniß, wenn sie bei Nacht, unsichtbar, wenn sie bei Tage Statt findet. Eine Sonnenfinsterniß entsteht, wenn die Erde in den Schatten des Mondes tritt. Nie aber tritt die ganze Erde in den Schatten, sondern nur einzelne Theile. Sichtbar ist daher eine Sonnenfinsterniß nur für diejenigen Erdbewohner, die sich im Schatten des Mondes befinden; für die übrigen ist sie unsichtbar. Eine partiale Sonnenfinsterniß findet für Beobachter Statt, die sich im Halbschatten, eine totale für diejenigen, welche sich im Kernschatten des Mondes befinden; eine ringförmige für die, welche sich im Halbschatten, aber auf der Verlängerung der zwischen den Mittelpunkten der Sonne und des Mondes gezogenen Linie befinden. Anderweitig ist bekannt, daß eine Mondfinsterniß nur zur Zeit des Vollmondes, eine Sonnenfinsterniß nur bei Neumond eintreten kann.

Fig. 134.



Gesch. Bem. Unter den Griechen hat zuerst Thales von Milet 610 v. Chr. den Eintritt einer Sonnenfinsterniß vorhergesagt.

Zweites Kapitel.

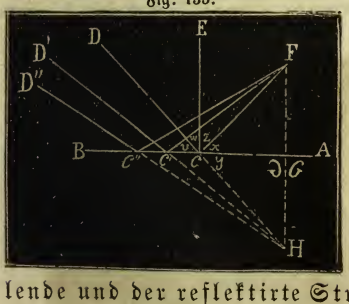
Die regelmäßige Zurückwerfung oder Spiegelung.

§ 81. Die Planspiegel.

Jetzt muß man beachten, was mit den auf den undurchsichtigen Körper fallenden Strahlen geschieht. Man bemerkt: a) ein Theil wird regelmäßig zurückgeworfen, d. h. gespiegelt, b) ein Theil wird nach allen Richtungen zerstreut und dient dazu, den Körper selbst sichtbar zu machen, c) ein Theil desselben geht verloren, er wird absorbirt. Diejenigen Körper, bei denen der erste Theil bedeutend ist, die also die meisten Strahlen regelmäßig zurückwerfen, nennt man Spiegel. Zu diesem Zwecke müssen sie möglichst glatt, d. h. frei von allen Erhabenheiten und Vertiefungen sein. Die gewöhnlichsten sind die Glasspiegel, welche man verfertigt, indem man eine Glasplatte auf ein mit Queckfilber bestrichenes Zinnpapier schiebt und auf dasselbe festdrückt. Die Hinterwand, also das Queckfilber, ist die spiegelnde Fläche; da aber auch die vordere Glasfläche spiegelt, so erhält man zwei Bilder, und durch gegenseitige Spiegelung derselben oft noch mehr. Für genauere Beobachtungen wendet man daher Metallspiegel an, die aber leicht dem Rost unterworfen oder zu weich sind, um eine genügende Politur zuzulassen. —

Bedeckt man nun einen kleinen Spiegel mit einem Blatt Papier, in welchem sich eine kleine Oeffnung befindet, und stellt ein Licht jenseit des auf den Tisch gelegten Spiegels, und richtet sich selbst so lange, bis man durch die Oeffnung das Licht im Spiegel erblickt, so kann man, indem man zwei Lineale von der Oeffnung nach dem Lichte und nach dem Auge legt, bemerken, daß (Fig. 135.) der Winkel FCA = DCB ist; folglich ist auch, wenn EC das Loth auf AB in C ist, welches das Einfallsloth heißt, ECF = ECD. Ferner liegt EC mit FC und DC in einer Ebene. Da nun ECF der Einfallswinkel, und ECD der Reflexionswinkel heißt, so gilt: der einfallende und der reflektirte Strahl liegen mit dem Einfallsloth in derselben Ebene, ferner der Einfallswinkel und der Reflexionswinkel sind gleich. — Die von einem Punkte ausgehenden Strahlen werden daher, wenn sie einen ebenen Spiegel treffen, so zurückgeworfen, daß sie von einem Punkte herzukommen scheinen, der eben so weit hinter dem

Fig. 135.



Spiegel liegt, als sich der Punkt selbst vor dem Spiegel befindet. Der Schein beruht darauf, daß diese Strahlen die Richtung haben, als wenn sie aus jenem Punkte kämen; das Auge an sich kann aber nur aus der Richtung der Strahlen auf ihren Ausgangspunkt schließen.

Anm. Die Richtigkeit des letzteren Gesetzes läßt sich leicht nachweisen. Ist nemlich $FG \perp AB$ und $FG = HG$, so ist, wenn FC irgend ein den Spiegel treffender Strahl ist, $FCG \cong HCG$, folglich $x = y$, also auch $x = v$, und $z = w$, folglich CD der reflektirte Strahl.

Nach dieser Bestimmung läßt sich leicht das Bild jedes Punktes für einen ebenen oder Planspiegel angeben. Man fällt von dem Punkte ein Loth auf den Spiegel oder dessen Erweiterung, und verlängert das Loth um sich selbst, so ist der Endpunkt desselben das Bild des ersten Punktes. — Sind zwei Spiegel mit ihren spiegelnden Flächen einander gegenüber gestellt, so dienen die Bilder des einen wieder als leuchtende Punkte für den anderen Spiegel; daher geben zwei parallel aufgestellte Spiegel unendlich viele Bilder, die aber an Stärke sehr bald abnehmen. Am bekanntesten ist die Aufstellung dreier Spiegelflächen unter Winkeln von 60° in der Röhre des Kaleidoskops. Für zwei derselben m und n, die man nur auf einmal überschaut, zeigt sich die Anordnung der Bilder des Gegenstandes p in Fig. 136.

Fig. 136.

§ 82. Die Spiegel mit gekrümmter Oberfläche.

Die Spiegel können auch gekrümmte Flächen bilden, dann sind sie gewöhnlich Theile einer Kugeloberfläche (Fig. 137. und 138.). Den

Fig. 137.

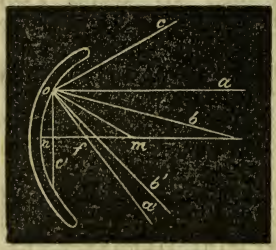
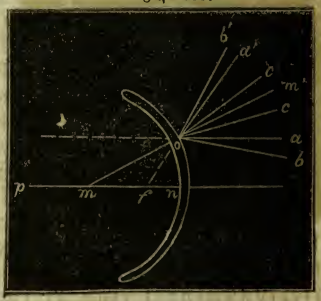


Fig. 138.



Mittelpunkt m der dazu gehörigen Kugel nennt man den geometrischen, den Mittelpunkt n der Spiegelfläche selbst den optischen Mittelpunkt, und die durch beide gezogene Linie die Achse des Spiegels.

Das Loth auf die Kugelfläche ist hier jederzeit der nach dem Einfallspunkte gezogene Kugelradius mo. Man unterscheidet concave oder Hohlspiegel im engern Sinne (Fig. 137.) und convexe oder erhabene Spiegel (Fig. 138.), je nachdem der Mittelpunkt m vor oder hinter dem Spiegel liegt. Ist nun co für den Hohlspiegel (Fig. 137.) ein mit der Achse convergirender Strahl, so geht derselbe nach der Spiegelung nach oc', convergirt also noch mehr; der parallele Strahl ao convergirt nach oa'; der divergirende Strahl bo convergirt ebenfalls nach ob', der divergirende Strahl a'o geht parallel in der Richtung oa, der divergirende Strahl c'o divergirt nach oc, aber weniger, als vorher. In allen Fällen ergiebt sich: 1) Hohlspiegel dienen dazu, die Strahlen convergenter zu machen, d. h. convergirende Strahlen convergiren nach der Spiegelung mehr, parallele convergiren, divergirende können convergiren, parallel gehen oder divergiren, im letzteren Falle aber weniger, als vorher. Auf gleiche Weise ergiebt sich in Fig. 138.: 2) erhabene Spiegel dienen dazu, die Strahlen divergenter zu machen, d. h. divergirende Strahlen (bo) divergiren noch stärker (ob',) parallele Strahlen (ao) divergiren ebenfalls (oa',) convergente aber können entweder divergiren (co, oc') oder parallel gehen (a'o, oa), oder convergiren (b'o, ob), im letzteren Falle aber weniger, als vorher. — Unter allen Strahlen sind besonders zwei Arten hervorzuheben, da sich der Weg derselben leicht bestimmen läßt: 1) Strahlen, die durch den geometrischen Mittelpunkt m gehen, werden in sich zurückgeworfen; dies ergiebt sich unmittelbar aus dem Gesetze der Spiegelung; 2) alle Strahlen, die parallel der Achse auffallen, gehen nach der Spiegelung wirklich oder scheinbar durch einen Punkt f, welcher, um einen halben Kugelradius vom Spiegel entfernt, auf der Achse liegt. Derselbe befindet sich für Hohlspiegel vor dem Spiegel und heißt der Brennpunkt, für die erhabenen hinter dem Spiegel und heißt richtiger der Zerstreuungspunkt. Für den Hohlspiegel geht nemlich der zurückgeworfene Strahl wirklich durch den Brennpunkt, für den erhabenen Spiegel dagegen hat der, wie oben gezeigt wurde, divergent zurückgeworfene Strahl nur eine solche Richtung, als wenn er aus jenem Punkte herkäme, er geht also nur scheinbar durch denselben.

Anm. Das letzte Gesetz läßt sich leicht herleiten: Ist in Fig. 137. ao parallel mn, so ist aom = omn, aom = a'om, also omn = a'om. Ebenso ist in Fig. 138. aom' = omn, und aom' = a'om' = fom, also omn = fom. Demnach ist of = mf; da aber om gewöhnlich sehr nahe = of + mf ist, so ist mf = $\frac{1}{2}$mn, also auch fn = $\frac{1}{2}$mn. Man ersieht hieraus, daß der Brennpunkt kein genauer Punkt, sondern ein Brennraum ist, der etwas näher zu dem Spiegel liegt, als zu dem geometrischen Mittelpunkte. Derselbe wird beträchtlich, sobald der Spiegel einen größeren Theil der zugehörigen Kugelfläche ausmacht, und hieraus ergiebt sich die Nothwendigkeit, daß die Hohlspiegel nur wenig Grade enthalten, wo dann der Brennraum von einem Punkte nicht zu unterscheiden ist.

Diese beiden Arten von Strahlen dienen nun dazu, den Ort des Bildes jedes einzelnen Punktes zu bestimmen. Für Spiegel von wenigen Graden kann man nemlich annehmen, daß Strahlen, die von

einem Punkte ausgehen, nach der Spiegelung eine solche Richtung haben, daß sie sich entweder in einem Punkte wieder vereinigen, oder von einem Punkte her zu kommen scheinen. So finden wir für den Hohlspiegel HH (Fig. 139.) das Bild des Punktes A durch die Strahlen AO und AMP, welche nach Oa und PaM zurückgeworfen werden, in a und das Bild von AC in ac; ebenso aber fällt das Bild von ac in AC. Man bemerkt, daß hier eine wirkliche Vereinigung der Strahlen in a Statt gefunden hat; daher heißt a ein wirkliches oder physisches Bild, welches natürlich vor dem Spiegel und zwar auf der entgegengesetzten Seite der Achse liegt. In beiden Fällen lagen Gegenstand und Bild auf entgegengesetzten Seiten von M, aber auf derselben von F, nemlich weiter, als F, vom Spiegel entfernt, oder, da FS die Brennweite heißt, außerhalb der Brennweite. — Sucht man dagegen ein Bild von BD, welches innerhalb der Brennweite liegt, so findet man durch die Strahlen BO und BQ, welche nach OF und QM zurückgeworfen werden, daß keine wirkliche Vereinigung dieser Strahlen vor dem Spiegel Statt findet, daß sie aber eine Richtung haben, als wenn sie aus dem Punkte b hinter dem Spiegel herkämen. Daher entsteht von dem Gegenstande BD ein scheinbares oder geometrisches Bild bd hinter dem Spiegel, und zwar liegt b auf derselben Seite der Achse; zugleich ist bd größer als BD. — Bestimmt man endlich das Bild von dem Gegenstande AB welches durch den erhabenen Spiegel JJ (Fig. 140.) hervorgebracht wird, so erhält man durch die Strahlen AO und AP, welche nach Of und PA zurückgehen und sich gar nicht vor dem Spiegel vereinigen, wieder ein scheinbares Bild ab hinter dem Spiegel, und zwar liegt a auf derselben Seite der Achse, wie A, und ab ist offenbar kleiner, als AB. Daraus ergeben sich für beide Arten von Spiegeln folgende Bestimmungen: 1) liegt der Gegenstand außerhalb der Brennweite eines Hohlspiegels, so entsteht ein physisches Bild außerhalb der Brennweite auf der entgegengesetzten Seite des Mittelpunktes; 2) liegt der Gegenstand innerhalb der Brennweite eines Hohlspiegels, so entsteht ein vergrößertes geometrisches Bild; 3) ein erhabener Spiegel bringt jederzeit verkleinerte geometrische Bilder innerhalb der Brennweite hervor. Außerdem liegt jedes physische Bild vor dem Spiegel, jedes geometrische hinter dem Spiegel; zugleich ergiebt sich leicht

Fig. 139.

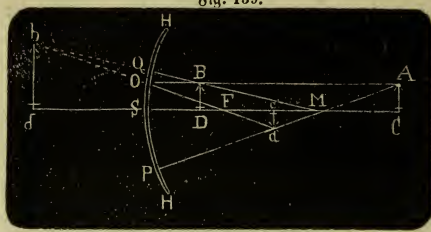
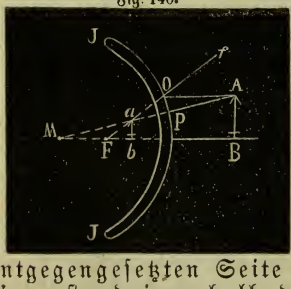


Fig. 140.



durch Betrachtung der Figuren, daß das physische Bild eines Punktes immer auf der entgegengesetzten Seite, das geometrische dagegen auf derselben Seite der Achse liegt, wie der leuchtende Punkt; daher ist jedes physische Bild umgekehrt, und man nennt jedes geometrische im Gegensatze dazu aufrecht. Da ferner ein physisches Bild wirklich vorhanden ist, so kann dasselbe auch von allen Seiten gesehen werden, sobald den Strahlen durch durchscheinendes Papier, Rauch, die Wand ꝛc. der weitere Weg versperrt wird; geometrische Bilder dagegen können nur von demjenigen gesehen werden, der die direkt vom Spiegel kommenden Strahlen empfängt.

Wenn die Strahlen der Sonne parallel der Achse eines Hohlspiegels auffallen, so vereinigen sie sich im Brennpunkte und bewirken daselbst eine große Hitze; sie dienen daher als Brennspiegel (§ 97.). Wird umgekehrt in den Brennpunkt ein leuchtender Gegenstand gebracht, so gehen die Strahlen parallel der Achse aus und dienen daher dazu, das gesammte auffallende Licht in einer bestimmten Richtung auszusenden; daher werden solche Spiegel, in einem Halbkreise aufgestellt, auf Leuchtthürmen gebraucht. Stellt man endlich 2 Hohlspiegel einander so gegenüber, daß ihre Achsen zusammenfallen, so vereinigen sich die von dem Brennpunkte des einen Spiegels ausgehenden Strahlen, nachdem sie parallel zurückgeworfen den Weg zwischen beiden durchlaufen haben, wieder in dem Brennpunkte des andern Spiegels und lassen dort ein Bild entstehen (vgl. §§ 77. u. 97.). Erhabene Spiegel sieht man als vollständige Kugeln häufig in Gärten aufgestellt, um kleine Bilder derselben zu geben. Eben darauf beruhen die verzerrten Bilder, die man auf der Innen- oder Außenseite eines Löffels, auf blanken Geschirren u. s. w. erblickt.

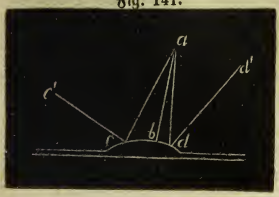
Anm. Auf den Leuchtthürmen wendet man auch wohl einen einzigen Spiegel an, und läßt dann denselben durch ein Uhrwerk sich in einem Halbkreise mit bestimmter Geschwindigkeit drehen, so daß ein Schiff in der Nähe desselben in genauen Zwischenräumen den vollen Lichtschein erhält. Wenn nun diese Drehung für die verschiedenen Leuchtthürme verschieden ist, so erkennt der Schiffer aus der Dauer der Zwischenräume zugleich, welchen Leuchtthurm er vor sich erblickt.

Drittes Kapitel.

§ 83. Die unregelmäßige Zurückwerfung.

Bis jetzt ist blos derjenige Theil der Strahlen berücksichtigt worden, welcher regelmäßig zurückgeworfen wird. Ein zweiter Theil wird, wie oben angegeben worden ist, unregelmäßig zerstreut; dies findet aber um so mehr Statt, je mehr Erhabenheiten oder Vertiefungen ein Körper hat. In diesem Falle werden nemlich die Strahlen (Fig. 141.) ab, ac, ad, welche die einzelnen Punkte einer solchen Erhabenheit oder Vertiefung treffen, in Folge des Gesetzes der Spiegelung nach den verschiedensten Richtungen, ba, cc', dd', hin zer-

Fig. 141.

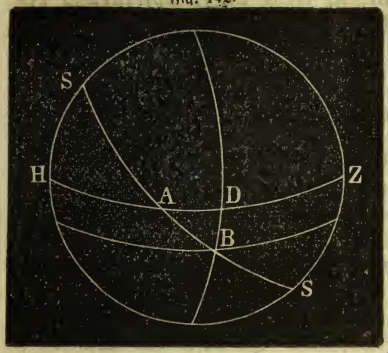


streut, so daß der erleuchtete Gegenstand selbst, indem er Strahlen nach allen Richtungen wirft, leuchtet, aber in den meisten Fällen so schwach, daß er dadurch nur eben sichtbar wird. Es gilt also für diese Zerstreuung der Strahlen, zwar auch das in § 81. aufgestellte allgemeine Gesetz der Spiegelung, aber die von einem Punkte ausgehenden Strahlen vereinigen sich durchaus nicht wieder in einem Punkte oder auch nur in der Nähe eines solchen. — Da nun kein Körper ganz glatt ist, so findet auch stets eine solche Zerstreuung Statt; daher bemerkt man, wenn in einem dunklen Zimmer ein Sonnenstrahl durch eine Oeffnung auf eine Stelle des Spiegels trifft, diese Stelle überall im Zimmer, die im Spiegel durch regelmäßige Spiegelung abgebildete Oeffnung dagegen nur dort, wo sie nach dem Gesetze der Spiegelung sichtbar sein kann. Uebrigens werden um so mehr Strahlen regelmäßig gespiegelt, je kleiner der Winkel ist, den die Strahlen mit der Ebene bilden; so spiegelt eine dunkle Tischplatte, und das Tuch glänzt, wenn man es, wie man sagt, gegen das Licht hält.

Eine solche Zerstreuung findet nun auch von Seiten der Luft Statt und ist der Grund der allgemeinen Tageshelle. Zerstreute nemlich die Luft die Sonnenstrahlen nicht, so müßte der Himmel vollkommen schwarz erscheinen, und man würde an ihm bei Tage, wie bei Nacht, nur an den Stellen leuchtende Punkte sehen, wo sich die Himmelskörper befinden. Zugleich würde es im Schatten, in den Zimmern ꝛc. vollkommen finster sein, und nur diejenigen Gegenstände würden hell erscheinen, welche direkt durch die Sonnenstrahlen beleuchtet würden. Der Gegensatz davon ist nun eben die allgemeine Tageshelle. Dieselbe macht zugleich das Auge gegen die schwache Wirkung der Strahlen der Sterne unempfindlich. Wenn dagegen nur ein kleiner Theil des Himmelsgewölbes diese zerstreuten Strahlen in das Auge sendet, z. B. bei dem Sehen durch ein Fernrohr, so ist die Wirkung derselben nicht groß genug, um die Strahlen der Sterne zu verdunkeln. So soll man auch unter günstigen Umständen bisweilen aus tiefen Schachten Sterne am Tage gesehen haben.

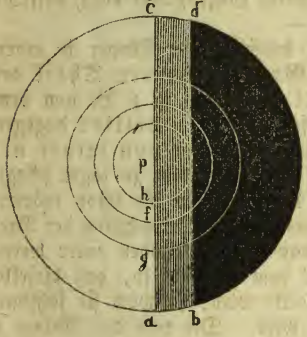
Auf demselben Grunde beruht die Morgen- und Abenddämmerung. Auch vor dem Aufgange und nach dem Untergange der Sonne verbreiten die Strahlen, welche von dem durch die Sonne beschienenen Theile der Atmosphäre zerstreut werden, eine gewisse Helligkeit, welche man die Dämmerung nennt. Der Kürze wegen sprechen wir nur von der Morgendämmerung, indem Alles im umgekehrten Sinne auch von der Abenddämmerung gilt. Man unterscheidet die bürgerliche Dämmerung, welche beginnt, wenn man im Freien lesen kann, und die astronomische, bei deren Anfang die Dunkelheit abzunehmen beginnt, und daher die kleinsten Sterne am östlichen Horizonte verschwinden; den Eintritt der letzteren rechnet man gewöhnlich dann, wenn die Sonne sich 18° unter dem Horizont befindet. Da nun die Kreise, welche die Sonne beschreibt, am Aequator auf dem Horizonte senkrecht stehen, so dauert die Dämmerung dort zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche so lange, bis die Sonne 18° ihrer Bahn zurückgelegt hat, also $1\frac{1}{2}$ Stunde vor und nach Sonnenuntergang. Für andere Breiten ist aber zu derselben Zeit (Fig. 142.) der

Fig. 142.



Theil AB der Sonnenbahn SS die Hypotenuse, und der Bogen DB, ein Bogen von 18°, welcher die Entfernung der Sonne unter dem Horizont HZ bestimmt, in welcher die Dämmerung beginnt oder aufhört, die Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks; und da nun diese Hypotenuse desto größer ist, je kleiner der Winkel ist, den die Sonnenbahn mit dem Horizonte bildet, so ist der Weg der Sonne während der Dämmerung, und also die Dauer der Dämmerung desto länger, je schiefer die Sonnenbahn gegen den Horizont geneigt oder je höher die Breite ist. Dies erläutert auch Fig. 143., welche die nördliche Halbkugel vorstellt, indem der äußerste Kreis der Aequator, p der Nordpol ist. Zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche ist nun die beleuchtete Hälfte beider Halbkugeln in jedem Augenblicke gleich der unbeleuchteten, ca sei die Grenze beider, db dagegen die Grenze der Dämmerung, indem cd = 18° ist. Jetzt ersieht man, wie die Punkte der Erdoberfläche desto länger in der Zone der Dämmerung verweilen, je mehr sie sich vom Aequator entfernen und daß die in der Nähe der Pole gar nicht aus derselben herauskommen. Im Sommer dauert die Dämmerung bei uns die ganze Nacht, in den Polargegenden währt sie Wochen und Monate. Auch beruht darauf die für nordische Reisende überraschende Erfahrung, daß im Süden nach dem Untergange der Sonne die völlige Dunkelheit viel schneller eintritt, als bei uns. Uebrigens hängt natürlich die Dauer der Dämmerung zugleich sehr wesentlich von dem Aussehen des Himmels ab und ist in Gegenden, in denen der Himmel sehr klar, also wenig Strahlen zerstreut, auffallend kurz.

Fig. 143.



Endlich giebt es noch einen dritten Theil der Strahlen, welcher von dem Körper absorbirt, d. h. verschluckt wird oder für die Beleuchtung verloren geht, dagegen zur Erwärmung dient. Derselbe ist um so größer, je dunkler der Körper ist, und daher für schwarze Körper am bedeutendsten.

Dritte Abtheilung. Erscheinungen, wenn die Fortpflanzung des Lichtes durch durchsichtige Körper verändert wird.

Erstes Kapitel.

Die Strahlenbrechung.

§ 84. Das Gesetz der Strahlenbrechung.

Nachdem bis jetzt betrachtet worden ist, was geschieht, wenn die Lichtstrahlen einen undurchsichtigen Körper treffen, wenden wir uns zu den durchsichtigen, d. h. zu denjenigen Körpern, welche die Lichtstrahlen hindurchlassen. Man muß sogleich bemerken, daß kein Körper vollkommen durchsichtig ist, oder alle Lichtstrahlen durchgehen läßt, wie bereits von der Luft (§ 83.) erwähnt worden ist, daß sie einen Theil der auffallenden Strahlen zerstreue. Je tiefer das Wasser, je dicker das Glas ist, desto undeutlicher erscheinen die Gegenstände durch dieselben, ein Zeichen, daß sie bei größerer Dicke oder Tiefe immer weniger Strahlen den Durchgang verstatten. Umgekehrt ist anzunehmen, daß kein Körper vollkommen undurchsichtig ist; freilich läßt ein Bret keinen einzigen Strahl hindurch; aber selbst ein so dichter Körper, wie das Gold, ist in einer sehr dünnen Schicht als Blattgold durchsichtig oder durchscheinend, indem weiße Gegenstände durch dasselbe in einem bläulichen Lichte erscheinen. —

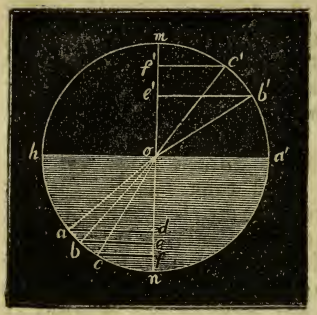
Wenn nun Strahlen aus einem durchsichtigen Körper in einen andern übergehen, so wird an der Grenzfläche ein Theil der Strahlen zerstreut und gespiegelt, wie man ja z. B. von dem Wasserspiegel spricht, ein andrer absorbirt, ein dritter dagegen in den zweiten eingelassen, aber so, daß er von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt oder, wie man zu sagen pflegt, gebrochen wird. — Für die ersten Theile gelten die schon erörterten Gesetze; es bleibt also nur eine ausführliche Betrachtung der Brechung der Lichtstrahlen übrig. Legt man auf den Boden einer leeren Tasse eine Münze, und stellt sich mit dem Gesichte so, daß dieselbe gerade durch den Rand der Tasse bedeckt wird, so wird sie sichtbar, wenn Wasser in die Tasse gegossen wird. Die von der Münze a ausgehenden Strahlen (Fig. 144.) können nicht in gerader Linie in unser Auge gelangen; da sie aber sowohl im Wasser, als auch in der Luft geradlinig fortgehen, so müssen sie eine Ablenkung an der Grenzfläche erfahren, und zwar eine solche, daß die Münze dadurch gehoben erscheint. Der Strahl geht also in der Richtung abc, und die Münze erscheint in der Richtung a'bc. Auf dieselbe Weise sieht ein im Wasser schräg stehender Stab von oben gebrochen aus, so daß der im Wasser befindliche Theil der Wasserfläche genähert erscheint. Legt man ein Stück Fensterglas so auf ein bedrucktes Blatt, daß die halben Zeilen bedeckt werden, so erscheinen die Buchstaben, wenn man von oben herab sieht, an ihrer Stelle, von der Seite gesehen aber von ihrer Stelle verrückt. — Es sei nun hi

Fig. 144.

die Grenzfläche der beiden durchsichtigen Körper, z. B. der Luft und des Wassers, und ab der aus dem Wasser kommende Strahl, welcher in der Luft die Richtung bc annimmt; dann ist ab der einfallende, bc der gebrochene Strahl; eben so gut könnte aber der Strahl cb aus der Luft in das Wasser übergehen; dann wäre cb der einfallende und ba der gebrochene. Errichtet man nun in b nach beiden Seiten ein Loth auf die Grenzfläche, so heißen die beiden Winkel, welche das Loth mit dem einfallenden und gebrochenen Strahle macht, der Einfalls- und Brechungswinkel, und es gelten dann folgende Gesetze: 1) ein Strahl, welcher die Grenzfläche senkrecht trifft, geht ungebrochen durch, d. h. in gerader Linie weiter, 2) ein Strahl, welcher mit der Grenzfläche einen schiefen Winkel bildet, wird von seiner Richtung abgelenkt, aber so, daß das Loth, der einfallende und der gebrochene Strahl in einer Ebene liegen, 3) diese Ablenkung ist um so größer, je größer der Einfallswinkel ist, 4) ein Strahl bildet im allgemeinen in dem dünneren Körper mit dem Lothe einen größeren Winkel, als in dem dichteren; wenigstens gilt dies durchaus für Wasser, Glas und Luft, die gewöhnlichsten durchsichtigen Körper. — Aus 3 und 4 ergiebt sich, daß es für die Strahlen, die aus einem dichteren Körper in einen dünneren übergehen, einen Winkel geben muß, dessen Brechungswinkel einen Rechten betragen würde. Dieser Winkel heißt der Grenzwinkel; machen die Strahlen mit dem Lothe einen Winkel, der größer, als der Grenzwinkel ist, so können sie gar nicht in den dünneren Körper übergehen, sondern sie werden völlig gespiegelt; es findet dann, wie man sagt, eine totale Reflexion Statt. Dieser Grenzwinkel beträgt für Strahlen, die aus dem Glase in die Luft übergehen, 40—41°, für Strahlen, die aus dem Wasser in die Luft gehen, 48½°. Ein Strahl also, der von einem Körper im Wasser ausgeht und das Niveau unter einem Winkel trifft, welcher etwa 40° beträgt, wird regelmäßig gespiegelt. Daß in der That keine Strahlen in diesem Falle in die Luft übergehen, kann man leicht sehen, wenn man an die Rückseite eines Wasserglases ein Licht stellt, die hintere Hälfte der Oeffnung des Glases aber mit einem Papier bedeckt; dann kann man in einer Höhe, wo die geradlinigen Strahlen vom Lichte aus vor dem Papier vorbei das Auge treffen würden, das Licht nicht sehen. Sieht man ferner von unten nach der Oberfläche des Glases, so erscheint dieselbe als ein Spiegel, in dem sich die unter demselben befindlichen Gegenstände abbilden. Stellt man in ein Glas mit Wasser ein Probirgläschen, welches man einen Zoll hoch mit Wasser gefüllt hat, schräg hinein, so erscheint dieser untere Theil durchsichtig, der leere dagegen als eine spiegelnde Fläche, weil die schräg aus dem Wasser auffallenden Strahlen nicht in die Luft des Gläschens übergehen können, sondern gespiegelt werden.

Anm. Um das Gesetz für die Brechung genauer aufstellen zu können, schlage man nun um den Einfallspunkt o (Fig. 145.) der Strahlen einen Kreis, der die einfallenden (ao, bo, co) und die gebrochenen Strahlen (a'o, b'o, c'o) schneidet; von diesen Durchschnittspunkten fälle man Lothe ad, be,

Fig. 145.



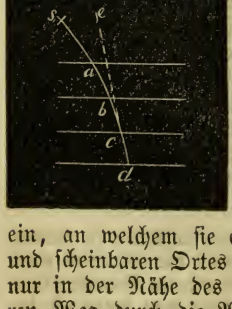
cf und a'o, b'e', c'f' auf das Einfallsloth mn; dann gilt als Gesetz, daß für dieselben Körper, z. B. für Wasser und Luft je zwei zusammengehörige Lothe cf und c'f', be und b'e', ad und a'o dasselbe Verhältniß haben. Dieses Verhältniß beträgt für Wasser und Luft 3 : 4, für Glas und Luft 2 : 3, so daß also jedes solche Loth im Wasser $\frac{3}{4}$ des entsprechenden Lothes in der Luft ist.

Man ersieht aus diesem Vorgange, daß die Strahlen bei ihrem Uebergange aus einem Körper in einen anderen einen bedeutenden Verlust erleiden, indem ein großer Theil derselben gespiegelt wird; daraus erklärt sich leicht, daß, wenn die Strahlen öfter aus einem Körper in einen anderen überzugehen genöthigt sind, und besonders dann, wenn für beide Körper eine starke Ablenkung Statt findet, der Verlust so bedeutend sein wird, daß der Körper als undurchsichtig erscheinen muß. So ist gepulvertes Glas, der Schaum des Wassers undurchsichtig, indem die Strahlen dann vielfach aus Glas oder Wasser in Luft übergehen müssen, und umgekehrt. Andrerseits ist bekannt, daß geöltes Papier, in welchem die Poren mit Oel statt mit Luft ausgefüllt sind, durchscheinend ist, ebenso wird gepulvertes Glas, mit Wasser oder noch besser mit Terpentin begossen, durchsichtig; hier ist nemlich die Luft zwischen den Theilen durch Substanzen ersetzt, welche eine bedeutend geringere Ablenkung der Strahlen verursachen.

§ 85. Die Strahlenbrechnng durch die Luft.

Im vorigen Paragraph sind die allgemeinen Gesetze der Brechung aufgestellt worden; es kommt jetzt darauf an, mehrere wichtige Erscheinungen, die in denselben ihre Erklärung finden, zu betrachten. Zuerst nennen wir die astronomische Strahlenbrechung. Die Strahlen der Gestirne, s, (Fig. 146.) treffen bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre auf immer dichtere Luftschichten, sie werden daher auch immer mehr von ihrer Richtung ab, dem Lothe zu gelenkt werden und, da diese Ablenkung allmählich geschieht, eine krumme Linie sabcd beschreiben. Das Auge versetzt aber den Gegenstand in die Richtung dce, welche der Strahl zuletzt hat, und daher erscheinen die Gestirne höher am Himmel als sie in der Wirklichkeit stehen, und nur die Sterne, welche im Zenith (d. h. senkrecht über unserm Kopfe) gesehen werden, nehmen den Ort wirklich ein, an welchem sie erscheinen. Diese Verschiedenheit des wirklichen und scheinbaren Ortes ist jedoch im allgemeinen sehr gering und wird nur in der Nähe des Horizontes, wo die Strahlen einen viel längeren Weg durch die Atmosphäre zurückzulegen haben und einen weit

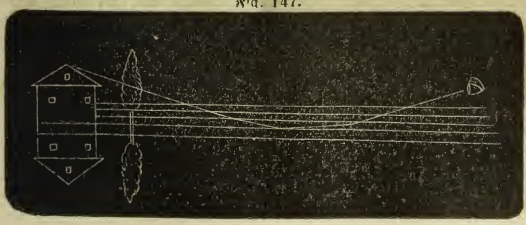
Fig. 146.



schieferen Winkel mit den Schichten derselben bilden, bedeutender. Vermöge dieser Brechung geschieht es, daß die Sonne früh eher und Abends länger über dem Horizonte erscheint, als sie in der Wirklichkeit über demselben steht.. Dadurch wird der Tag bei uns um 7—8 Min., in den Polargegenden um Tage und Wochen verlängert. Da ferner der untere Rand der Sonne und des Mondes stärker, als der obere gehoben wird, jener nemlich um 33 Min., dieser um 28 Min., so wird der vertikale Durchmesser um 5 Minuten, also um mehr, als $\frac{1}{7}$ seiner Länge verkürzt, und so kommt es, daß beide Himmelskörper beim Auf- und Untergange plattgedrückt erscheinen. Viel bedeutender tritt diese Gestalt der Sonne in den Polargegenden hervor, wo überhaupt die Strahlenbrechung durch den häufigen und schnellen Wechsel der Dichtigkeit der Luftschichten sehr stark ist und zu den auffallendsten Ortsveränderungen der in der Nähe des Horizontes sich befindenden Gestirne, namentlich der Sonne Veranlassung giebt. — Eine ähnliche Strahlenbrechung findet auch auf der Erde Statt, wenn über eine weite Ebene, etwa über die Meeresfläche, über Sandflächen, Eisfelder ꝛc. hin, die Strahlen einen langen Weg aus dichteren Luftschichten in dünnere zurückzulegen haben; dann werden die Gegenstände durch dieselben gehoben und genähert erscheinen, und es ist möglich, bei einem gewissen Zustande der Luft Gegenstände zu sehen, die man unter den gewöhnlichen Umständen wegen der Krümmung der Erde oder in Folge anderer Hindernisse nicht sehen kann. So wurden in England plötzlich die Thürme eines Schlosses, welches gewöhnlich durch einen davorstehenden Hügel verdeckt wurde, über dem letzteren sichtbar; so hat man die französische Küste bei Boulogne von Hastings in England aus gesehen, und zwar in ganz auffallender Nähe und Deutlichkeit, u. A. Hierauf beruht wahrscheinlich auch die Fata Morgana; bisweilen erblickt man nemlich an der italienischen Küste, Sicilien gegenüber, Paläste, Säulen, Wälder ꝛc., indem durch eine starke Strahlenbrechung die Stadt Messina und ihre Umgegend sichtbar wird.

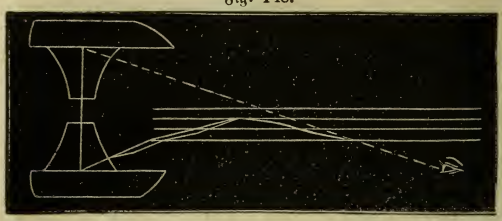
Eben darauf beruht die sogenannte Luftspiegelung. Wenn nemlich durch plötzliche Erwärmung oder Erkaltung Luftschichten von sehr verschiedener Dichtigkeit über einander gelagert sind, so können sehr schräg auffallende Strahlen der dichteren Luftschicht, die in den dünneren Luftschichten allmählich eine immer weiter gehende Ablenkung erfahren, endlich nicht mehr in die nächste übergehen, sie werden gespiegelt, kehren in die dichteren Schichten zurück, indem sie eine der früheren entgegengesetzte Ablenkung erleiden, und es entsteht so scheinbar in der dünneren ein umgekehrtes Spiegelbild der Gegenstände, welche sich entfernt in der dichteren Schicht befinden. Entweder kann nun (Fig. 147.) die wärmere Schicht unten sein; dann muß sich das Auge über derselben be-

Fig. 147.



finden, die über sie hervorragenden Gegenstände spiegeln sich nach unten, und das Ganze bietet den Anblick einer spiegelnden Wasserfläche dar. Dies geschieht in den heißen Gegenden Afrika's und Amerika's, namentlich über Steppen, ferner über der See an sehr heißen Tagen. Oder es kann die wärmere Schicht oben sein (Fig. 148.); dann muß sich der Beobachter noch in der kälteren befinden und die auf der Erde befindlichen Gegenstände erscheinen verkehrt in der Luft schwebend. Da auch dies nur für sehr schräg auffallende, also aus weiter Ferne kommende Strahlen möglich ist, so ist es bisweilen geschehen, daß nur das Bild in der Luft erschien, während der Gegenstand sich unter dem Horizonte befand. Man bemerkt dies auf dem Meere, wenn die Luftschichten zunächst über demselben eine sehr bedeutende Abkühlung erfahren haben.

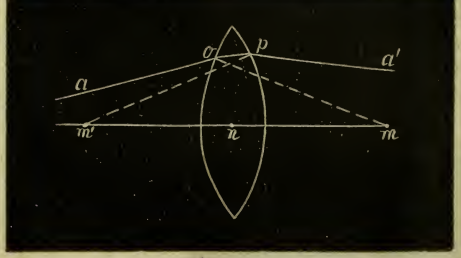
Fig. 148.



§ 86. Die Strahlenbrechung durch Glas.

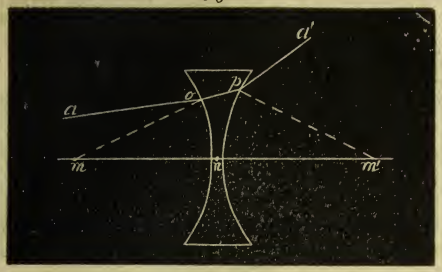
Wichtiger ist die Anwendung der Brechung, welche die Strahlen erleiden, wenn sie aus Luft in Glas übergehen und dann wieder in Luft zurückkehren. Am einfachsten ist der Fall, wenn beide Grenzflächen parallele Ebenen sind, dann werden alle Strahlen so gebrochen, daß sie in derselben gegenseitigen Lage heraustreten, in der sie aufgefallen sind. Dies findet z. B. bei unsern Fensterscheiben Statt, und sind dieselben von reinem und dünnem Glase, so ist der Einfluß so unbedeutend, daß man bisweilen zweifelhaft ist, ob das Glas fehlt oder vorhanden ist. Anders aber verhält es sich dagegen für Gläser, deren Grenzflächen nicht parallel sind.

Fig. 149.



Zunächst führen wir unter ihnen die Linsen (Fig. 149.) und Hohlgläser (Fig. 150.) an, Gläser, deren Oberflächen Kugeln angehören. Die Mittelpunkte m, m' der betreffenden Kugeln heißen die geometrischen, der Mittelpunkt n zwischen beiden Grenzflächen der optische Mittelpunkt, und die gerade Linie, welche die geometrischen Mittelpunkte verbindet, die Achse. Wir betrachten nur diejenigen Linsen, deren Oberflächen beide erhaben oder beide hohl sind (biconvex, biconcav) und Kugeln von gleichem Halbmesser angehö-

Fig. 150.



ren. — Ist nun etwa ao (Fig. 149.) ein Strahl, der die Linse in o trifft, so wird derselbe beim Uebergange in das Glas dem Lothe om zugebrochen, etwa nach op, dagegen beim Uebergange in die Luft in p von dem Lothe m'p abgebrochen, etwa nach pa'. Die vereinigte Wirkung beider Brechungen wird also für die Linsen in jedem Falle die sein, daß der Strahl der Achse zugebrochen wird. Der Strahl ao dagegen, der das Hohlglas (Fig. 150.) trifft, wird dem Lothe mo zugebrochen, nach op; dann in p vom Lothe m'p abgebrochen, nach pa'. Für Hohlgläser besteht also die vereinigte Wirkung darin, daß der Strahl von der Achse abgebrochen wird. Hieraus ergiebt sich zunächst: 1) (convexe) Linsen dienen dazu, die Strahlen convergenter zu machen, d. h. ein convergirender Strahl a (Fig. 151.) convergirt nach der Brechung mehr (a'); ein paralleler (b) convergirt nach der Brechung ebenfalls (b'); ein divergirender wird nach der Brechung entweder convergiren (c, c'), oder parallel gehen (b', b), oder divergiren, aber weniger, als vorher (a', a); 2) Hohlgläser (concave) dienen dazu, die Strahlen divergenter zu machen, d. h. ein divergirender Strahl a (Fig. 152.) divergirt nach der Brechung noch stärker (a'); ein paralleler Strahl b divergirt ebenfalls (b'); ein convergirender wird nach der Brechung entweder divergiren (c, c'), oder parallel gehen (b', b), oder weniger convergiren, als vorher (a', a). — Unter allen Strahlen sind besonders zwei Arten hervorzuheben, deren Wege sich leicht bestimmen lassen. Erstens die Strahlen, welche durch den optischen Mittelpunkt gehen, sind vor und nach der doppelten Brechung parallel und erfahren nur eine kleine Verrückung, die vernachlässigt werden kann, wenn das Glas dünn ist. Man pflegt daher zu sagen, und anzunehmen: 1) Strahlen, welche durch den optischen Mittelpunkt gehen, bleiben ungebrochen. Genau ist dies für einen Strahl, der mit der Achse selbst zusammenfällt. 2) Strahlen, welche pa-

Fig. 151.

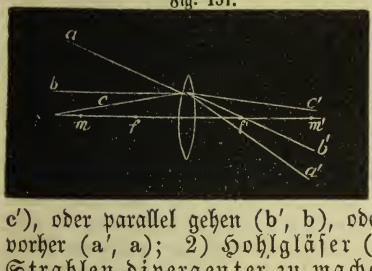
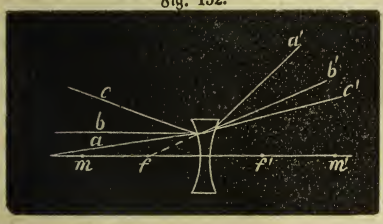


Fig. 152.



rallel der Achse auffallen, gehen nach der Brechung wirklich oder scheinbar durch einen Punkt f, welcher auf der Achse liegt. Derselbe befindet sich bei den Linsen auf der entgegengesetzten Seite der Linse und heißt der Brennpunkt, für Hohlgläser liegt er auf derselben Seite des Glases, woher die Strahlen kommen, und heißt daher der geometrische Brennpunkt oder richtiger der Zerstreuungspunkt. Nur für die Linsen nemlich gehen die parallelen Strahlen wirklich durch diesen Punkt; für die Hohlgläser dagegen nehmen sie nach der Brechung eine Richtung an, als wenn sie aus jenem Punkte kämen, gehen also nur scheinbar durch denselben. Es ist übrigens klar, daß es einen solchen Punkt (f, f') auf jeder der beiden Seiten des Glases geben müsse.

Anm. Auch diese Bestimmungen sind jedoch nur angenähert richtig, indem es auch hier (§ 82. Anm.) keinen eigentlichen Brennpunkt, sondern einen Brennraum giebt; sie treffen aber mit der Wirklichkeit um so mehr zusammen, je näher der Achse die Strahlen auf das Glas fallen, und deswegen dürfen auch die Gläser der optischen Instrumente nur eine Ausdehnung von wenigen Graden haben.

Diese beiden Arten von Strahlen dienen nun dazu, den Ort des Bildes der einzelnen Punkte zu bestimmen. Strahlen nemlich, die von einem Punkte ausgehen, nehmen nach der Brechung nahezu eine solche Richtung, daß sie sich entweder wieder in einem Punkte vereinigen, oder von einem Punkte herzukommen scheinen. Jener Punkt der wirklichen Vereinigung, der natürlich auf der entgegengesetzten Seite des Glases liegen muß, heißt auch hier das physische Bild; der Punkt der scheinbaren Vereinigung oder vielmehr der scheinbare Ausgangspunkt, welcher auf derselben Seite des Glases liegen muß, heißt das geometrische Bild. Will man nun für die Linse LL (Fig. 153.) das Bild eines Punktes (a oder b) bestimmen, so zieht man den Strahl, der durch die Mitte geht (ao, bo), und den der Achse parallelen Strahl, der nach der Brechung durch den Brennpunkt in der Richtung pf geht. Es ist nun sichtbar, daß sich beide Strahlen entweder, wie ao und pf, wirklich und zwar auf der entgegengesetzten Seite der Linse und der Achse, in a', schneiden müssen, oder, wie bo und pf, scheinbar, nemlich rückwärts verlängert, in einem Punkte b' zusammentreffen, der dann auf derselben Seite der Linse und der Achse und zwar weiter von der Achse entfernt liegt, als b'. Bestimmt man dagegen für das Hohlglas HH (Fig. 154.) den Ort des Punktes a, so ist der Durchschnitt der gebrochenen Strahlen jederzeit nur scheinbar, nemlich der für die Strahlen pf und oa in a', und dann immer auf derselben Seite des Hohlglases und der Achse, ferner inner-

Fig. 153.

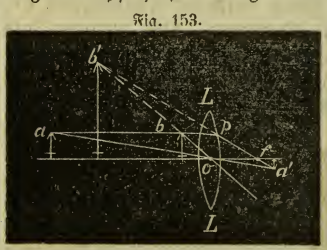
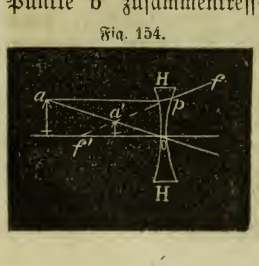


Fig. 154.



halb der Brennweite und näher der Achse, als a. Daraus ergeben sich folgende Bestimmungen: 1) Liegt der Gegenstand außerhalb der Brennweite einer (convexen) Linse, so entsteht ein physisches Bild außerhalb der Brennweite; 2) liegt der Gegenstand innerhalb der Brennweite einer Linse, so entsteht ein vergrößertes geometrisches Bild; 3) ein Hohlglas (ein concaves Glas) bringt jederzeit verkleinerte geometrische Bilder innerhalb der Brennweite hervor. Jedes physische Bild ist verkehrt und auf der entgegengesetzten Seite des Glases, jedes geometrische aufrecht und auf derselben Seite. — Strahlen, die aus dem Brennpunkte einer Linse kommen, gehen parallel aus, Strahlen, die der Achse einer Linse parallel gehen, vereinigen sich im Brennpunkte. — Auf der Entstehung der vergrößerten geometrischen Bilder durch (convexe) Linsen beruht ihre Benutzung als Vergrößerungsgläser; auf der Vereinigung der parallelen Strahlen im Brennpunkte ihre Benutzung als Brenngläser; endlich auf dem Aus-

er Fonds wurde vor ca. 15 Jahren gegründet und ist seitdem ca. 900,000 Mk. angewachsen; Curatoren desselben sind gegenrtig Ober-Präsident Günther, Provinzial-Landtagsmarschall eiherr v. Unruhe-Bomst, Oberbürgermeister Kohleis und Rittertsbesitzer v. Potworowski. Bedeutende bauliche Umänderungen rden in dem ehemaligen Kloster nicht erforderlich sein, und r einige größere Räume werden durch Errichtung von Zwischenänden zu kleineren Wohnungen umgestaltet werden. Es sollen wohl ältere Männer als auch Frauen der gebildeten Stände die Alterversorgungs-Anstalt aufgenommen werden, und zwar rd der eine Flügel des Gebäudes für die Männer, der andere die Frauen bestimmt sein.

— Der Doppelmord in Fürstenberg, der, wie erwähnt nde, in der Nacht vom 30. zum 31. Dezember v. J. verübt rden, veranlaßt, der „Cer.-Ztg." zufolge, in weiteren Kreisen e erhebliche Aufregung. Die unglücklichen Opfer des ruchlo- Verbrechens zählten eine große Anzahl von Freunden und reuten sich überall großer Achtung. Im verwichenen Jahre ging das Ehepaar das seltene Fest der goldenen Hochzeit. Allem cheine nach ist die Bluthat von ein oder mehreren Personen übt worden, die eine genaue Kenntniß von den Lokalitäten r Wohnung und von den Verhältnissen des Zossenheim'schen gepaares besitzen. Dasselbe hat am Abend des 30. Dezember nen Besuch abgestattet, und wahrscheinlich sich während dieser it der Mörder in die Wohnung eingeschlichen. Bemerkenswerth der Umstand, daß am Tage vor dem Morde Herr Zossenheim nen Geldbrief empfangen hatte. Dies scheint der Mörder geißt und vielleicht Veranlassung zu dem Verbrechen gegeben zu ben; denn der Brief ist nicht gefunden worden und dürfte zu m Raube gehören. Mit welcher Energie die Mörder „gearbeit" haben, geht daraus hervor, daß die Frau, welche mittelst nes langen Dolchmessers getödtet worden, einen Stich in der ruft hat, der bis durch den Rücken hindurchgeht. Die Verstung mehrerer Personen, welche theils der That, theils der ßenwissenschaft verdächtig, ist bereits erfolgt.

— Der „Daily Telegraph" erzählt eine Scandalscene, die

stand im Brennrhaupt ist aber mit denen der mit denen der men.

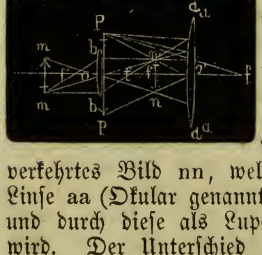
beruhen.

r auf der Wirn. Ein solches 55.), ein dunkd eine Linse x oand mit durchuf dem die feidem Kasten be- erscheinen. An ein gewöhnlicher el von 45° auf- er oberen Wand pier wirft, auf cheint. Darüber n fremdes Licht

zur Hervorbrinrte Silberplatte dgelber Ueberzug nun in die Caild des äußeren er Platte abbilSilber tritt herten Strahlen genkelsten Stellen;

jetzt sind alle hellen Stellen silbern, die dunklen goldgelb. Die Platte wird hierauf Queckſilberdämpfen ausgeſetzt, die ſich ganz fein an die von Jod freien Stellen des Silbers anſetzen; die hellen Stellen ſind alſo mit Queckſilber überzogen, die dunklen goldgelb. Endlich wird die Platte in eine Salzlöſung getaucht, welche das Jodſilber auch von den übrigen Stellen entfernt, ſo daß der ſilberne Hintergrund, welcher dunkel erſcheint, hervortritt; jetzt ſind alſo endlich die hellſten Stellen mit Queckſilber überzogen, die dunklen dagegen ſilbern. Aehnlich iſt die Verfertigung der Photographien. Man bildet auf einer Glasplatte einen Ueberzug von Jodſilber; dieſe braucht in der Camera obscura nur auf ganz kurze Zeit den von dem Gegenſtande ausgehenden Lichtſtrahlen ausgeſetzt zu werden, welche das Silber hervortreten laſſen; der an den dunkeln Stellen ungeänderte Ueberzug wird dann in einer Salzlöſung abgewaſchen, damit das Bild einer weiteren Einwirkung durch die Lichtſtrahlen entzogen (fixirt) werde. Man hat dann auf der Glasplatte ein Bild, auf welchem der ſilberne Ueberzug um ſo ſtärker iſt, je heller die Stellen ſind, während an den dunkelſten das Glas frei iſt; dies nennt man ein negatives Bild. Hierauf wird ein mit Chlorſilber getränktes Papier feſt an die Glasplatte angedrückt und dieſe den Sonnenſtrahlen ausgeſetzt, welche dann durch die freien Stellen des Glaſes hindurch das Silber auf dem Papier hervortreten laſſen, durch die ſilbernen dagegen nicht hindurchdringen und daher das Chlorſilber auf dem Papier nicht verändern können. Nachdem nun das unzerſetzbare Chlorſilber wieder ausgewaſchen iſt, erſcheinen auf dem Papier die dunklen Stellen ſilbern, alſo dunkel, während an den hellen das Papier hervortritt. Dies geſtattet nun ſchließlich die beſſernde Nachhülfe des Künſtlers (Retouchiren) an den mangelhaft hervortretenden Stellen. — Eine zweite ſehr häufige Anwendung der (convexen) Linſen iſt, wie ſchon vorher erwähnt, die Benutzung derſelben als Vergrößerungsgläſer. Die einfachſte derartige Vorrichtung iſt die Lupe, welche überhaupt nur aus einer (convexen) Linſe von geringer Brennweite, alſo ſtarker Brechbarkeit beſteht. Indem die Lupe dem Gegenſtande ſo weit genähert wird, daß derſelbe innerhalb der Brennweite der Linſe liegt, entſteht ein vergrößertes geometriſches Bild. — Setzt man eine zweite (convexe) Linſe bb vor die erſtere aa (Fig. 156.), ſo daß die Brennpunkte beider faſt zuſammenfallen, ſo hat man das zuſammengeſetzte Mikroſkop, welches im Princip dieſelbe Einrichtung mit dem aſtronomiſchen Fernrohr hat. Die Linſe bb, welche dem Gegenſtande (Objekte) mm zugewendet iſt und deshalb Objektiv heißt, entwirft von dem Gegenſtande ein phyſiſches, verkehrtes Bild nn, welches innerhalb der Brennweite der anderen Linſe aa (Okular genannt, weil ſie dem Auge zugewendet iſt) entſteht und durch dieſe als Lupe betrachtet, alſo vergrößert in pp geſehen wird. Der Unterſchied der Einrichtung beſteht darin, daß bei dem Mikroſkope das Objektiv eine ſehr kurze Brennweite hat und die Entfernung des Gegenſtandes von demſelben nicht viel größer, als die

Fig. 156.



Brennweite ist, so daß schon das physische Bild nn stark vergrößert erscheint, während bei dem astronomischen Fernrohr die Linse eine große Brennweite hat, der Gegenstand in sehr großer (unendlicher) Entfernung liegt, also das Bild im Brennpunkt des Objektivs entsteht. Daß der Gegenstand verkehrt erscheint, ist für den Gebrauch beider Instrumente gleichgültig, stört dagegen bei Beobachtungen auf der Erde, bei Reisen, ꝛc. Zu diesem Zwecke wendet man nun das terrestrische Fernrohr an, indem zwischen beide Linsen aa und bb (Fig. 157.), die genügend von einander entfernt werden, eine dritte (convexe) Linse cc eingeschoben wird, so daß diese von dem durch die erste entworfenen physischen Bilde nn wieder ein physisches Bild oo giebt, welches nun aufrecht steht, und durch die dritte Linse als Lupe betrachtet in pp vergrößert erscheint.

Fig. 157.

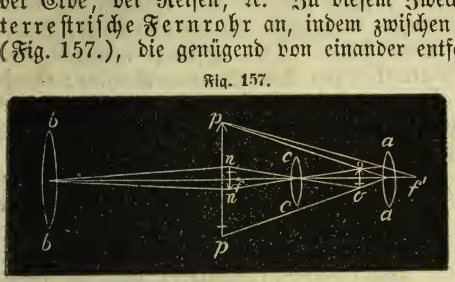
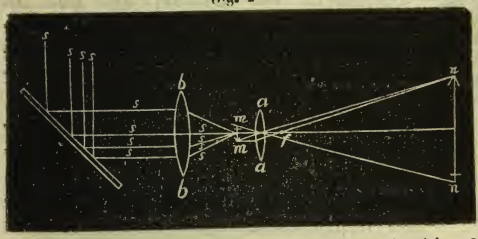
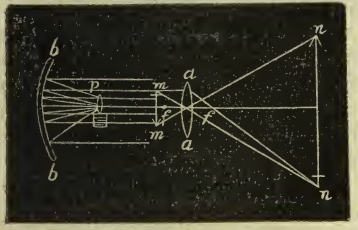


Fig. 158.



Wie diese drei Instrumente zusammengehörten, indem eines gewissermaßen aus dem anderen entstand, so lassen sich dem Principe nach das Sonnenmikroskop (Fig. 158.) und die Zauberlaterne (Fig. 159.) mit einander verbinden. In beiden sind zwei Theile zu unterscheiden, 1) die (convexe) Linse aa, welche von dem verkehrt gehaltenen Gegenstande mm, der etwas weiter als der Brennpunkt entfernt ist, ein vergrößertes physisches Bild nn an der Wand entwirft, und 2) der Theil, der dazu dient, den Gegenstand stark zu beleuchten.

Fig. 159.

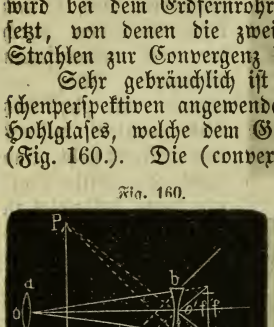


Hierzu dient bei dem Sonnenmikrospop eine (convexe) Linse bb, in deren Brennpunkt sich der Gegenstand mm befindet, so daß die Sonnenstrahlen ss sich auf demselben vereinigen, bei der Laterna magica dagegen ein (concaver) Hohlspiegel bb, in dessen Brennpunkte eine Lampe p steht, deren Strahlen durch den Hohlspiegel sämmtlich auf den Gegenstand mm geworfen werden. — Es ist natürlich nicht nothwendig, daß bei dem sogenannten Sonnenmikroskop die Strahlen der Sonne die Beleuchtung bewirken; man wendet jetzt auch vielfach brennendes Knallgas an (§ 36.), in welchem Kreide glühend leuchtet; dann heißt es ein Hydro-Oxygengasmikroskop; die Einrichtung ist

aber wesentlich dieselbe. — In den meisten Fällen wird statt der einzelnen Linsen, die erwähnt wurden, eine Zusammensetzung von zwei oder mehreren angewendet, die aber zusammen die oben bezeichnete Wirkung hervorbringen. Da nemlich die (convexen) Linsen eine Convergenz der Strahlen bewirken, so wird dieselbe durch mehrere neben einander gestellte vermehrt, und diese wirken dann zusammen ebenso, wie eine einzige Linse von kürzerer Brennweite, während die durch solche stark gekrümmte Linsen verursachte Ungenauigkeit der Bilder nicht in gleichem Grade Statt findet. Dies geschieht namentlich bei dem zusammengesetzten Mikroskop und dem Sonnenmikroskop; ebenso wird bei dem Erdfernrohr die mittlere Linse cc stets durch zwei ersetzt, von denen die zweite die aus der ersten parallel austretenden Strahlen zur Convergenz bringt.

Sehr gebräuchlich ist ferner noch die in Opernguckern oder Taschenperspektiven angewendete Zusammenstellung einer Linse und eines Hohlglases, welche dem Galileischen Fernrohre zu Grunde liegt (Fig. 160.). Die (convexe) Linse aa bildet nemlich das Objektiv; das (concave) Hohlglas bb von kurzer Brennweite das Okular, und zwar ist das letztere so gestellt, daß der (vom Gegenstande aus gerechnet) hintere Brennpunkt f' des Okulars noch etwas vor dem Brennpunkte f des Objektivs liegt. Die Strahlen des entfernten Gegenstandes werden durch das Objektiv so gebrochen, daß sie ein umgekehrtes physisches Bild nn nahe bei f bilden würden. Vorher treffen die Strahlen aber das Okular. Wenn die convergirenden Strahlen nach dem Brennpunkte desselben zugingen, so würden sie parallel ausgehen; da sie aber etwas weniger convergiren, so divergiren sie nach der Brechung etwas, und vereinigen sich daher nur scheinbar in einiger Entfernung, wodurch ein geometrisches Bild pp entsteht. Je näher der Gegenstand sich befindet, desto weiter entfernt sich das physische Bild, desto mehr muß also auch das Okular vom Objektive entfernt und also die verschiebbare Röhre des Fernrohres herausgezogen werden. Wegen seiner geringen Länge ist das Galileische Fernrohr viel bequemer, als das astronomische, gestattet aber nur eine geringe Vergrößerung.

Fig. 160.



Gesch. Bem. Brillen wurden schon 1299 und 1305 von Greisen in Italien benutzt. Die Zusammenstellung einer Linse und eines Hohlglases zu einem Mikroskope geschah am Ende des 16. Jahrhunderts nach 1590 von dem Brillenmacher Jansen in Middelburg; ebendaselbst wurde die Verbindung dieser Gläser zu einem Fernrohre im Jahre 1608 von dem Brillenmacher Hans Lippershey und Jacob Adriaansz, gen. Metius, ausgeführt. Galilei (G. B. zu § 7.) errieth auf eine ihm 1609 in Venedig zugekommene Nachricht jener Entdeckung die Einrichtung und verfertigte alsbald in Padua ein ähnliches Instrument, das Galileische Fernrohr, wie er denn dasselbe auch zuerst gegen den Himmel richtete; hier beobachtete er den Mond, und entdeckte die Trabanten des Jupiter und Saturn u. A. Die Zusammenstellung des astronomischen Fernrohrs ist 1611 von Keppler

(G. B. zu § 7.) angegeben worden, ebenso die des terrestrischen Fernrohrs; dagegen rührt die oben erwähnte, allgemein angewendete Ersetzung der mittelsten Linse durch zwei andere von de Rheita (1665) her. Die Camera obscura wurde von dem Italiener Porta erfunden und schon 1558 bekannt gemacht. Die Erzeugung von Lichtbildern ist Daguerre in Paris, nachdem er bereits seit 1826 darüber Versuche gemacht hatte, erst 1838 geglückt. Die Zauberlaterne soll schon von Roger Baco 1252 erfunden sein, ist aber erst, nachdem sie 1646 von Kircher, einem sehr gelehrten Jesuiten, aufs neue entdeckt wurde, bekannt geworden; das Sonnenmikroskop ist von Lieberkühn, einem Berliner Arzte, 1738 erfunden.

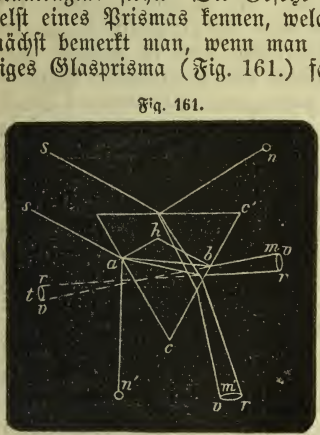
Zweites Kapitel.

Die Farbenzerstreuung.

§ 88. Die Gesetze der Farbenzerstreuung.

Bis jetzt ist nur einfach von der Brechung der Strahlen die Rede gewesen; es ist aber mit derselben jederzeit eine Farbenerscheinung verbunden, wie man sie z. B. bemerkt, wenn man durch ein Rautenglas sieht. Die Gesetze derselben lernt man am besten mittelst eines Prismas kennen, welches jetzt betrachtet werden soll. Zunächst bemerkt man, wenn man die Sonnenstrahlen auf ein gleichseitiges Glasprisma (Fig. 161.) fallen läßt, dessen obere Seitenfläche man horizontal hält, daß an der Wand ein farbiges Bild m nach oben, ein zweites dergleichen m′ auf dem Erdboden, und zwei farblose n und n′, gewöhnlich in der Nähe der beiden ersten, doch n etwas über m, n′ etwas vor m′ nach dem Fenster zu erscheinen. Verfolgt man nemlich in der Zeichnung den Weg eines auffallenden Strahles sa, so wird derselbe zunächst dem Lothe ha zu gebrochen nach ab, dann von dem Lothe hb abgelenkt nach bm. Man sieht also, wenn man die Kante c, welche zwischen den beiden Flächen liegt, durch welche der Strahl geht, die Brechungskante nennt, daß der Strahl jederzeit von der brechenden Kante abgelenkt wird. So entsteht das Bild m. Es fallen aber auch Strahlen auf die obere Fläche und gehen durch die hintere Fläche heraus, so daß die brechende Kante c′ ist; folglich wird ein zweites Bild m′ durch Brechung entstehen, indem die Strahlen diesmal von c′ abgelenkt werden. Außerdem findet aber auch eine Spiegelung Statt, und dadurch entstehen die beiden farblosen Bilder n und n′, dieses von der Vorderfläche, jenes von der oberen gespiegelt. Je nachdem man daher eine oder die andere der beiden Flächen bedeckt, ver-

Fig. 161.



schwinden die zwei entsprechenden Bilder*). — Sieht man dagegen durch die Hinterfläche eines Prismas, welches man in der vorher angegebenen Weise hält, so erscheinen die Gegenstände sämmtlich viel tiefer und zwar nach beiden Seiten abwärts gekrümmt; hält man aber eine Kante nach oben horizontal, so sieht man die Gegenstände gehoben und an den Seiten aufwärts gekrümmt. Die Verschiebung selbst ergiebt sich unmittelbar aus dem Obigen. Das Auge empfängt nemlich den Strahl sa in der Richtung mb, versetzt also den Gegenstand s nach t; man ersieht, daß die Gegenstände der Kante zugerückt, also im zweiten Falle gehoben erscheinen. Die Krümmung, welche man bemerkt, erklärt sich leicht daraus, daß die von der Seite kommenden Strahlen unter einem schieferen Winkel auffallen und daher stärker gebrochen werden, also auch noch tiefer oder höher erscheinen, je nachdem eine Senkung oder Hebung Statt findet.

Nimmt man jetzt auf die Farben Rücksicht, die durch das Prisma hervorgerufen werden, so bemerkt man: 1) die Sonnenbilder, welche durch Brechung entstehen, unterscheiden sich von denen der Spiegelung dadurch, daß sie länglich und farbig sind, und zwar so, daß der Theil, welcher am wenigsten abgelenkt ist, roth, der entgegengesetzte Rand violett ist; zwischen ihnen liegen in unmerklichen Uebergängen von unten nach oben Orange, Gelb, Grün, Blau. Zu merken ist jedoch, daß gewöhnlich die blaue und violette Farbe mehr, als die Hälfte des ganzen Bildes einnimmt, indem der blaue Theil sehr breit ist, weshalb man diesen oft noch in hellblau und dunkelblau oder indigofarben theilt. — 3) Fängt man die durch ein Prisma gegangenen, also farbigen Strahlen durch eine (convexe) Linse auf, welche dieselben wieder vereinigt und hält einen weißen Schirm in den Vereinigungspunkt, so bemerkt man auf demselben ein rundes, weißes Sonnenbild. — Hieraus kann man schließen, daß das weiße Sonnenlicht aus unendlich vielen verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzt sei, welche bei der Brechung eine verschiedene Ablenkung erfahren, sich daher beim Durchgange durch das Prisma trennen und das Farbenspektrum geben. Diese Strahlen vereinigt geben wieder das farblose weiße Sonnenlicht. — Nun kann aber die violette Farbe auch durch Vereinigung der blauen und rothen Strahlen, die grüne aus den gelben und blauen, die orange aus den rothen und gelben entstehen. Um leichter die aus solchen Mischungen hervorgehenden Farben zu übersehen, pflegt man drei Grundfarben anzunehmen: Roth, Blau, Gelb. Da nun Violett, Grün und Orange aus diesen entstehend gedacht werden können, so werden auch jene drei Grundfarben, in dem gehörigen Verhältnisse vereinigt, den Eindruck des Weißen hervorrufen müssen; endlich auch Roth mit Grün, Blau mit Orange, Gelb mit Violett. Daher nennt man diese drei Paar Farben, von denen die eine die andre zu Weiß ergänzt, complementäre Farben. Hiernach ergiebt sich die Richtigkeit der folgen-

*) Man kann auch oft noch ein drittes Paar Bilder, und zwar farbloser, beobachten, welche durch Spiegelung von der zweiten Fläche entstehen.

den Zusammenstellung, in welcher die mit gleichen Ziffern bezeichneten Farben jeder Reihe zusammen Weiß geben:

Roth und Orange geben ein dem Roth genähertes Orange,
Roth, Orange, Gelb geben Orange,
Roth$_1$, Orange, Gelb, Grün$_1$ geben ein dem Gelb genähertes Orange,
Roth$_1$, Orange$_2$, Gelb, Grün$_1$, Blau$_2$ geben Gelb,
Roth$_1$, Orange$_2$, Gelb$_3$, Grün$_1$, Blau$_2$, Violett$_3$ geben Weiß,
Orange$_1$, Gelb$_2$, Grün, Blau$_1$, Violett$_2$ geben Grün,
Gelb$_1$, Grün, Blau, Violett$_1$ geben ein grünliches Blau,
Grün, Blau, Violett geben Blau,
Blau, Violett geben ein violettes Blau.

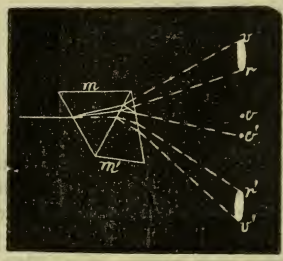
Hierauf beruht nun folgende Erscheinung. Sieht man durch ein Prisma nach einem weißen Streifen auf dunklem Grunde, so erscheint derselbe oben und unten mit gefärbten Rändern, und zwar folgen die Farben des oberen Randes von außen nach innen in der Ordnung: roth, orange, gelb, die des unteren von innen nach außen: grün, blau, violett. Das Weiß der Mitte verschwindet, wenn der obere und untere Rand zusammenrücken. Betrachtet man dagegen einen schwarzen Streifen auf weißem Grunde, so ist der obere Rand von außen nach innen grün, blau, violett, der untere von innen nach außen roth, orange, gelb. Im ersten Falle nemlich werden die von dem weißen Streifen ausgehenden Strahlen durch das Prisma gebrochen, und es entsteht von oben nach unten ein rother, oranger, gelber, grüner, blauer, violetter Streifen, jeder von gleicher Länge mit dem weißen Streifen. Ist diese Länge sehr gering, so erscheinen die Streifen in der That unter einander, und das ganze Bild des Streifens wird um so viel breiter. Ist der Streifen dagegen von erheblicher Länge, so decken sich die farbigen Bilder theilweise, wie in Fig. 162.; der rothe Streifen geht von r bis r′, der orange von o bis o′ u. s. w.; es ist daher nur ro roth, ob ein aus Roth bis ins Gelb übergehendes Orange, bv gelb, vr′ weiß, r′o′ grün, o′b′ ein aus Grün in Violett übergehendes Blau, b′v′ violett. Ist der Streifen dagegen schwarz, so sieht man nicht die Ränder des schwarzen, sondern vielmehr oben den unteren Rand der darüber liegenden weißen oder helleren Fläche, also: grün, blau, violett, und unten den oberen Rand der darunter liegenden weißen Fläche, also: roth, orange, gelb.

Fig. 162.

Anm. Zur Vervollständigung des Vorhergehenden fügen wir noch Folgendes hinzu: Betrachtet man ein Rechteck, welches zur einen Hälfte roth, zur andern blau ist, durch ein Prisma, so werden beide abgelenkt, aber das rothe viel weniger, als das blaue. Hieraus ergiebt sich offenbar, daß blaue Strahlen stärker gebrochen werden, als rothe. — Um ferner die Zusammensetzung der Farben zu zeigen, bedient man sich am besten eines Kreisels mit etwas breiter Oberfläche, den man mit farbigen Papieren bedeckt, welche Kreisausschnitte von bestimmter Größe bilden. Hat man ein rothes, ein blaues und ein gelbes Papier, oder ein rothes, oranges, gelbes, grünes, blaues, violettes Papier von gleicher Größe, so erhält man bei schneller Drehung des Kreisels den gemischten Eindruck des Weiß, welches jedoch

graulich aussieht, da die natürlichen Farben weder rein sind, noch diese drei oder sechs Farben die unzähligen des Spektrums ersetzen können. — Die Stärke der durch das Prisma bewirkten Ablenkung der Strahlen und der Trennung der verschiedenfarbigen Strahlen oder der Farbenzerstreuung hängt nun von dem Winkel, den die Seitenflächen des Prismas bilden, und von dem brechenden Stoffe ab. Je größer der Winkel, desto größer ist auch die Ablenkung und die Farbenzerstreuung. Aber es ist nicht immer mit gleicher Ablenkung der Strahlen gleiche Farbenzerstreuung verbunden, und umgekehrt. Wenn daher das Prisma m (Fig. 163.) für sich das Sonnenspektrum vr, das Prisma m' dagegen für sich ein eben so langes Spektrum v'r' bildet, welches aber wegen der umgekehrten Stellung des Prismas eine entgegengesetzte Ordnung der Farben hat, und wenn die Prismen eine verschieden starke Ablenkung von der eigentlichen Lage des Sonnenbildes o bewirken, so werden durch die Verbindung beider sich alle verschiedenen Farben in o' vereinigen, es wird also dort ein weißes, von seiner früheren Richtung abgelenktes Bild entstehen. Man erkennt hieraus die Möglichkeit, eine Brechung der Strahlen ohne Farbenzerstreuung zu bewirken (Achromasie). Bei allen in § 87. betrachteten Instrumenten, namentlich den Fernröhren und dem Mikroskop, deren Wirkung allein auf der Brechung beruht, wird die Schärfe der Bilder durch die farbigen Ränder sehr vermindert. Ehe man daher die Möglichkeit, diesen Uebelstand zu vermeiden, erkannt hatte, zog man Instrumente vor, in denen Hohlspiegel statt der convexen Linsen angewendet wurden, und diese heißen Spiegelteleskope. Als man aber später erkannte, daß Flintglas eine stärkere Farbenzerstreuung, aber ebenso große Brechbarkeit hat, als Kronglas, setzte man eine Linse aus Kronglas mit einem Hohlglase aus Flintglas von einer passenden, geringeren Krümmung zusammen und erreichte so eine Brechung und daher auch Vergrößerung ohne Farbenzerstreuung. Eine solche Vereinigung zweier Gläser nennt man eine achromatische, d. h. farblose Linse und benutzt seit dieser Zeit vorzugsweise achromatische Instrumente, d. h. solche, in denen auf die vorher angegebene Weise die Farbenzerstreuung beseitigt ist. Später hat man aber gelernt, durch die Zusammensetzung einer Linse und eines Hohlglases eine Brechung ohne Farbenzerstreuung zu bewirken. Solche Gläser, deren Vereinigung eine achromatische Linse bildet, müssen nemlich aus zwei verschiedenen Glasarten, dem Flintglas und Kronglas bestehen, und verschiedene Brechbarkeit bei gleicher Farbenzerstreuung haben. Seit dieser Zeit benutzt man vorzugsweise Instrumente, die ausschließlich aus Linsen zusammengesetzt sind.

Fig. 163.



Gesch. Bem. Das erste achromatische Fernrohr verfertigte Dollond 1758. Zwar hatte schon 1733 Hall die Construktion achromatischer Fernröhre angegeben; doch war dieselbe gänzlich unbekannt geblieben, und noch lange nachher wurde überhaupt die Möglichkeit derselben lebhaft von einzelnen Gelehrten bestritten. Auch John Dollond selbst war dieser Meinung, kam aber in Folge fortgesetzter Versuche endlich dahin, ein großes achromatisches Fernrohr zu verfertigen, welches wegen seiner außerordentlichen Wirkung die allgemeinste Bewunderung erregte.

§ 89. Die Bläue des Himmels. Die Morgen- und Abendröthe.

Diejenigen Farben die wir gewöhnlich an den Körpern wahrnehmen, haben darin ihren Grund, daß die Körper nur einen bestimmten Theil des auf sie fallenden Lichtes zurückwerfen; ein vollkommen weißer Körper müßte alle, ein vollkommen schwarzer gar keine Strahlen, ein rein rother nur die rothen Strahlen zurückwerfen, die übrigen absorbiren. Diese natürlichen Farben sind aber niemals ganz rein und erhalten daher durch das Prisma gesehen schwache Ränder, indem sie eine Zerlegung erfahren. Ebenso lassen die verschiedenen durchsichtigen Körper nicht alle Arten der Strahlen in gleicher Weise durch, sondern verschlucken oft einen Theil derselben. Läßt ein Körper die verschiedenfarbigen Strahlen gleich gut durch, so heißt er wasserhell; ein rothes Glas dagegen läßt nur rothe Strahlen durch und absorbirt die übrigen. — Hierdurch erklärt sich die Bläue des Himmels; die Luft zerstreut nemlich vorzugsweise die blauen Strahlen. Da nun der Himmel ohne diese zerstreuende Wirkung der Luft, wie schon oben bemerkt (§ 83.), schwarz erscheinen müßte, so ist klar, daß diese Bläue nach dem Zenith zu weit dunkler wird, ebenso auch, daß sie fast in Schwarz übergeht, wenn man sehr hohe Berge besteigt. Je dünner nemlich die Luft ist, desto weniger Strahlen wird sie zurückwerfen. Dünste dagegen lassen alle Strahlen gleich gut durch; sie lassen daher, wenn sie nicht zu dicht sind, die Sonne durch sich im weißen Lichte erscheinen. Aber sie werfen auch die verschiedenfarbigen Strahlen gleich gut zurück; daher glänzen sie selbst weiß, wenn sie von der Sonne beleuchtet werden. Diese Dünste sind es zugleich, welche das Blau des Himmels in das Weißliche übergehen lassen, während nach einem Gewitterregen, durch den die Luft von diesen Dünsten befreit wird, der Himmel tiefblau zu erscheinen pflegt.

Auf ähnlichem Grunde beruht die Erscheinung der Morgen- und Abendröthe. Man hat an dem Dampfe, der aus dem Ventile einer Dampfmaschine ausströmt, beobachtet, daß der unmittelbar darüber befindliche, noch luftförmige Wasserdunst vollkommen durchsichtig, der in einiger Entfernung zu Wasser gewordene Dunst bereits weiß ist, dazwischen aber ein Uebergangszustand Statt findet, in welchem nur die orangerothen Strahlen durchgelassen werden. Wenn sich also der in der Atmosphäre enthaltene Wasserdunst in diesem Zustande befindet, so bildet sich Morgens und Abends die Röthe, indem ebensowohl die direkten Strahlen der Sonne selbst, als auch die dadurch beleuchteten Wolken in rothem Lichte erscheinen. Am Tage ist der Weg der Strahlen durch die Atmosphäre und namentlich durch eine solche Luftschicht von der vorher beschriebenen Art viel zu kurz, als daß die Strahlen einen wesentlichen Verlust ihrer vollen weißen Farbe erhalten könnten. Abends ist eine prachtvolle Röthe viel häufiger, als des Morgens. Durch die Verminderung der Wärme gegen Abend wird nemlich jener Uebergang vorbereitet, und findet Statt, wenn die Sonne dem Untergange nahe ist; umgekehrt wird durch steigende Wärme das Wasser in der Luft zum Uebergange in Dunst veranlaßt; dieser Uebergang findet gewöhnlich erst Statt, wenn die Sonne

schon hoch gestiegen ist. Daher zeigt eine starke Morgenröthe eine große Feuchtigkeit der Luft an, indem selbst die aufsteigende Sonne den Uebergang der Dämpfe in Dunst nicht zu hindern vermag; umgekehrt kann die Feuchtigkeit der Luft bei starkem Abendroth nicht so groß sein, da sich sonst bereits Nebel gebildet haben würden, welche den Strahlen aller Farben gleichen Durchgang gestatten.

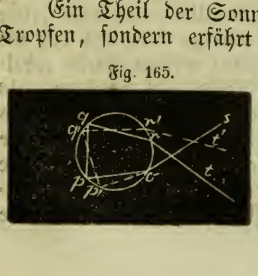
§ 90. Der Regenbogen.

Auf der bei der Brechung entstehenden Farbenzerstreuung beruht auch die Erscheinung des Regenbogens. Wir beobachten dieselbe nur dann, wenn vor uns eine regnende Wolke und hinter uns die Sonne steht. Die Strahlen derselben erleiden nemlich, beim Eintritt in einen Tropfen (Fig. 164.) eine Brechung, auf der Hinterwand eine Spiegelung und beim Austritte eine zweite Brechung, so daß der Strahl den Weg sopqr nimmt; bei der ersten Brechung findet jedoch zugleich eine Trennung der verschiedenfarbigen Strahlen Statt, und zwar werden die violetten am stärksten gebrochen werden, so daß, wenn etwa sop'q'r' den Weg der rothen Strahlen bezeichnete, sopqr den der violetten bezeichnen könnte, zwischen beiden aber die andern Farben liegen würden. Diejenigen Tropfen, welche unseren Augen Strahlen derselben Farbe zusenden, liegen scheinbar auf einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt auf einer geraden Linie liegt, die wir uns von der Sonne durch unser Auge gezogen denken müssen; und zwar bildet diese Linie mit jeder vom Auge nach dem Regenbogen gezogenen Linie einen Winkel von 40½° bis 42½°, nemlich 40½° für den inneren violetten, 42½° für den äußeren rothen Rand. Daher beträgt die Breite des Regenbogens 2°. Aus dem Vorigen folgt, daß, je höher die Sonne steigt, desto mehr sich der Mtitelpunkt des Regenbogens unter den Horizont senke; desto tiefer und kleiner wird also der Regenbogen, und wenn sich die Sonne 42½° über dem Horizonte befindet, so ist kein Regenbogen mehr möglich. Zugleich ergiebt sich, daß, weil für jeden Menschen der Mittelpunkt ein andrer ist, auch jeder einen andern Regenbogen sieht, d. h. andere Tropfen sind es, die für ihn den farbigen Eindruck verursachen. —

Fig. 164.

Ein Theil der Sonnenstrahlen tritt jedoch noch nicht aus dem Tropfen, sondern erfährt in demselben eine zweite Spiegelung; der Weg eines solchen Strahles (Fig. 165.) wäre etwa sopqrt für die violette und dann etwa sop'q'r't' für die rothe Farbe. Dadurch entsteht der Nebenregenbogen, dessen Mittelpunkt mit dem des ersten zusammenfällt. Der Winkel, den die farbigen Strahlen mit der nach dem Mittel-

Fig. 165.



punkt vom Auge aus gezogenen Linie machen, ist für die violetten $53\frac{1}{4}°$, für die rothen 50°. Dieser zweite Bogen erscheint daher fast $7\frac{1}{2}°$ höher, als der erste, ist $3\frac{1}{2}°$ breit, aber wegen der doppelten Spiegelung schwächer und mit umgekehrter Reihenfolge der Farben.

Anm. Das Genauere ergiebt sich aus Folgendem: Die aus den Tropfen austretenden Strahlen divergiren und bringen daher im allgemeinen keine Wirkung auf das Auge hervor. Nur diejenigen Strahlen, welche fast parallel austreten, und daher in ziemlicher Anzahl das Auge treffen, sind stark genug dazu; dies findet nun für diejenigen rothen Strahlen Statt, welche nach der Brechung mit den Sonnenstrahlen in der Verlängerung einen Winkel von $42\frac{1}{2}°$ machen, und für diejenigen violetten, für welche dieser Winkel $40\frac{1}{2}°$ ist. Denkt man sich nun einen Strahl durch das Auge und die Sonne gezogen und verlängert mn (Augenstrahl), so geht derselbe parallel den auf die Regentropfen fallenden Sonnenstrahlen so, und bildet daher mit dem gebrochenen Strahle qrm einen Winkel qmn, der gleich dem Winkel qp″s ist, den der gebrochene Strahl rückwärts verlängert mit dem auffallenden Sonnenstrahle macht. Demnach bringen diejenigen gebrochenen Strahlen die Wirkung rothen Lichtes auf das Auge hervor, welche mit dem Augenstrahl einen Winkel von $42\frac{1}{2}°$ machen; diese liegen aber auf einem Kegelmantel, dessen Seitenkante mit der Achse des Kegels, nemlich dem Augenstrahle, einen Winkel von $42\frac{1}{2}°$ bildet. Indem nun das Auge die Ausgangspunkte der Strahlen in gleiche Entfernung versetzt, erscheint der Regenbogen als ein Kreisbogen; dasselbe findet für die violetten Strahlen Statt, wenn der Winkel $40\frac{1}{2}°$ angenommen wird. Eine ganz gleiche Herleitung findet für den Nebenregenbogen Statt.

Vierte Abtheilung. Der Vorgang des Sehens.

§ 91. Die Entstehung des Bildes auf der Netzhaut.

Zuletzt soll noch eine Betrachtung des Vorganges beim Sehen und die Erklärung einer zahlreichen Menge von Erscheinungen gegeben werden, die ihren Grund in diesem Vorgange selbst haben. Der in der Augenhöhle befindliche Augapfel (Fig. 166.) wird von einer harten weißen Haut aa umschlossen, bis auf einen kleinen, etwas hervortretenden Kreis bb, der von der durchsichtigen Hornhaut gebildet wird. Unter der harten Haut befindet sich zunächst die Aderhaut cc, von einer unzähligen Menge kleiner Aederchen durchzogen, übrigens schwarz, um eine Zerstreuung der Strahlen zu hindern, unter ihr endlich die Netzhaut ff, beide lassen unter der durchsichtigen Hornhaut eine kreisförmige Oeffnung, die durch die ebene, bei den verschiedenen Menschen verschieden gefärbte Regenbogenhaut (Iris) dd bedeckt wird; dieselbe hat in der Mitte eine Oeffnung, die Pupille e, durch welche die Strahlen in das Innere des Auges dringen können. Die Iris kann sich nun nach der Mitte zu ausdehnen und zusammenziehen und dadurch die Pupille verkleinern und erweitern. Das erstere geschieht,

Fig. 166.

wenn man ins Helle sieht, um nur wenigen Strahlen den Eingang zu verstatten, das Bild aber desto genauer zu geben; die Erweiterung der Pupille findet dagegen im Dunkeln Statt um den Mangel der Beleuchtung durch die Menge der Strahlen, freilich auf Kosten der Genauigkeit des Bildes, zu ersetzen. Zwischen der Hornhaut bb und der Iris dd befindet sich die wässerige Feuchtigkeit, zwischen Iris und Netzhaut, also in dem kugelförmigen Raum hinter dd, die gallertartige gläserne Feuchtigkeit, in welcher sich, unmittelbar hinter der Regenbogenhaut, die Krystalllinse m befindet. Vorzugsweise von dieser letzteren werden die durch die Pupille eindringenden Strahlen gebrochen und entworfen, nachdem sie durch die Glasfeuchtigkeit gegangen sind, auf der Netzhaut ein verkehrtes physisches Bild; doch wirken die übrigen durchsichtigen Mittel hierzu ebenfalls mit und dienen namentlich, das Auge achromatisch zu machen. Damit das Bild deutlich sei, muß das physische Bild gerade auf der Netzhaut entstehen. Dies würde aber bei unveränderter Lage sämmtlicher Theile nur für Gegenstände in ganz bestimmter Entfernung möglich sein; das Auge vermag aber, sich in einem gewissen Umfange sehr verschiedenen Entfernungen anzupassen, d. h. der Linse in gewissen Grenzen eine solche Krümmung zu geben, daß das Bild sich genau auf der Netzhaut abbilde; darin besteht das Accommodationsvermögen. — Entsteht aber das Bild eines Punktes nicht genau auf der Netzhaut, sondern convergiren die Strahlen nach einem Punkte vor oder hinter derselben so bilden die Strahlen, die entweder durch den Punkt hindurch weiter gehen, oder noch nach dem Punkte hingehen, einen kleinen Kreis auf der Netzhaut, welcher der Zerstreuungskreis heißt. Indem dies aber ebenso für die anderen Punkte des Gegenstandes gilt, so setzen sich diese Kreise über einander zusammen und bilden nur ein undeutliches, verworrenes Bild des Ganzen. So kann z. B. ein gewöhnliches Auge nicht ordentlich sehen, wenn ihm die Gegenstände zu nahe gebracht werden. Der Zerstreuungskreis würde aber wegfallen, wenn nur sehr wenige Strahlen auf die Netzhaut fielen, denn diese würden einen so kleinen Kreis bilden, daß die Deutlichkeit nicht darunter litte. Dies erlangt man nun, wenn man ein Kartenblatt mit einer feinen Oeffnung zwischen Auge und Buch bringt; dann kann man auch in der größten Nähe die Buchstaben erkennen, und sieht sie zugleich außerordentlich vergrößert.

Bei kurzsichtigen Personen entstehen nur die Bilder naher Gegenstände auf der Netzhaut; die der entfernteren dagegen vor derselben. Dergleichen Personen bedürfen daher Gläser, welche die zu schnelle Convergenz der Strahlen vermindern, also Hohlgläser. Bei weitsichtigen Personen entsteht dagegen das Bild naher Gegenstände hinter der Netzhaut; für sie müssen daher die Strahlen durch (convexe) Linsen convergenter gemacht werden. Da die Krümmung der Hornhaut, welche die Convergenz befördert, mit dem Alter abnimmt, so pflegen alte Personen weitsichtig zu werden. Man sieht zugleich, daß die Kurzsichtigkeit leicht entstehen wird, wenn man durch ausschließliches Sehen in der Nähe, z. B. bei vielem Schreiben und Lesen, die Uebung verliert, das Auge größeren Entfer-

nungen anzupassen, daß daher auch umgekehrt durch passende Uebung des Auges, in die Ferne zu sehen, die Kurzsichtigkeit oft wieder beseitigt werden könne.

§ 92. Der Lichteindruck auf der Netzhaut.

Die Netzhaut ist die Ausbreitung des Sehnerven und daher derjenige Theil des Auges, welcher empfindet. Der Lichteindruck nun, der auf der Netzhaut durch das Bild hervorgerufen wird, ist zwar im allgemeinen diesem Bilde entsprechend, stimmt aber doch nicht immer weder in Bezug auf Größe, noch Dauer genau damit überein. Zunächst ist bei zu kleiner Ausdehnung oder zu kurzer Dauer des Bildes der Lichteindruck gar nicht wahrnehmbar. Daher wird z. B. ein Vogel in bedeutender Höhe, eine schnell vorbeifliegende Flintenkugel nicht gesehen. Sehr helle Gegenstände bewirken aber selbst dann einen Eindruck. So sind die Größe des Bildes, welches ein Fixstern hervorbringt, und die Dauer des Ueberschlagens eines elektrischen Funkens unmeßbar klein, und doch werden beide mit großer Deutlichkeit wahrgenommen. Andrerseits dehnt sich der Lichteindruck heller Gegenstände weiter auf der Netzhaut aus und dauert länger, als das Bild. Die erste Erscheinung, welche man Irradiation nennt, zeigt sich darin, daß eine weiße Scheibe auf schwarzem Grunde größer aussieht, als eine gleich große schwarze auf weißem Grunde, und überhaupt hellere Gegenstände größer, als dunklere; so sehen Personen in weißen Kleidern viel stärker aus; die leuchtende Mondsichel nach und vor der Zeit des Neumondes scheint zu einem größeren Halbmesser zu gehören, als der übrige von der Erde ganz matt beleuchtete Theil des Mondes. Die längere Dauer des Lichteindruckes bemerkt man an einer schnell geschwungenen Kohle, die als ein leuchtender Reif erscheint, weil der Eindruck an jeder Stelle so lange anhält, bis die Kohle wieder in dieselbe zurückgekehrt ist; darauf beruht auch die früher erwähnte Wirkung des Farbenkreisels (§ 88. Anm.), dessen schnelle Bewegung an jedem einzelnen Punkte einen aus den sämmtlichen Farben zusammengesetzten Eindruck hervorbrachte. Aus demselben Grunde sieht man das Bild hellerleuchteter Gegenstände noch eine Weile, nachdem man die Augen geschlossen. Dreht man eine kleine runde Scheibe schnell um einen ihrer Durchmesser, so vereinigen sich die Bilder beider Seiten zu einem, so daß, wenn etwa auf der einen ein Fenster, auf der anderen eine Person abgebildet ist, letztere aus dem ersteren herauszusehen scheint. — Endlich kann aber auch der auf der Netzhaut hervorgerufene Lichteindruck so stark gewesen sein, daß sie für denselben abgestumpft ist. Sieht man in die Sonne und dann zur Seite, so sieht man schwarze Sonnenbilder; der runde Theil der Netzhaut, auf dem sich das Sonnenbild befand, ist nemlich durch diese Strahlen so angegriffen, daß er keine Wirkung mehr äußert; es ist also, als wenn er von keinen Strahlen getroffen würde, oder als wenn ein schwarzer Körper da wäre; ebenso bemerkt man, wenn man am hellen Tage von einem Fenster zur Seite auf eine helle Wand sieht, eine dunkle, dem Fenster gleiche Fläche mit hellem Fensterkreuze. Die dem

letzteren entsprechenden ungereizten Theile der Netzhaut sind nemlich noch vollkommen empfänglich für die von der Wand ausgehenden Strahlen.

§ 93. Das Urtheil über den Eindruck auf der Netzhaut.

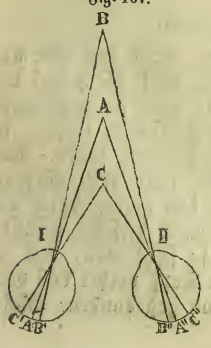
Aus dem Lichteindruck, den die Netzhaut selbst erfährt, fällen wir, uns selbst unbewußt, ein Urtheil über das, was wir sehen. Die Uebung in dieser Beurtheilung des Lichteindruckes erwerben wir uns bereits in frühester Kindheit. Wir lernen unbewußt den Grund dieser Eindrücke nach außen zu versetzen, ebenso das Bild umzukehren, d. h. wir lernen, daß eine Empfindung auf der linken Seite der Netzhaut jederzeit von einem Gegenstande auf der rechten Seite herrühre. — Denkt man sich von dem Mittelpunkt des Auges nach den äußersten Punkten eines Gegenstandes Strahlen gezogen, so heißt der von ihnen gebildete Winkel der Sehwinkel. Derselbe ist um so kleiner, je kleiner oder entfernter der Gegenstand ist. Man kann daher mittelst des Sehwinkels aus der Größe auf die Entfernung, aus der Entfernung auf die Größe schließen. Im ersten Falle muß uns also die Größe schon anderweitig bekannt sein, oder wir können sie aus der Vergleichung mit anderen bekannten Größen in gleicher Entfernung schließen. Im zweiten Falle beurtheilen wir die Entfernung sehr oft aus der Menge der Gegenstände, die sich zwischen uns und dem Körper befinden, indem wir gewissermaßen die Ausdehnung derselben addiren. Ist aber weder Entfernung, noch Größe durch ein solches unbewußtes Urtheil zu ermitteln, so irren wir uns auch vollständig über dieselben; deswegen erscheinen Sonne und Mond gleich groß und mit allen Sternen gleichweit entfernt. Ferner wird es uns leichter, über horizontale Entfernungen zu urtheilen, als nach der Höhe zu, wo wir keine Anknüpfungspunkte haben und daher die Entfernung zu gering schätzen. So erscheint uns das Himmelsgewölbe plattgedrückt, weil wir die Entfernung nach dem Zenith für kleiner, als nach dem Horizont halten; die Gestirne erscheinen uns daher auch viel höher zu stehen und im Anfange viel schneller über den Horizont emporzusteigen; deswegen scheinen uns Sonne und Mond auch am Horizonte viel größer, weil wir bei gleichem Sehwinkel sie für entfernter halten; sie bekommen aber sogleich ihre gewöhnliche Größe, d. h. der Schein verschwindet, wenn wir sie durch die kleine Oeffnung eines Kartenblattes betrachten. — Aus gleichem Grunde täuschen wir uns auch leicht über horizontale Entfernungen, wenn uns Anhaltepunkte fehlen, z. B. beim Schnee, auf dem Meere oder auf einer weiten Sandfläche, wo uns alle Gegenstände näher erscheinen. — Andrerseits tragen die verschiedene Beleuchtung und die Abwechselung zwischen Licht und Schatten, verbunden mit der im allgemeinen bekannten Gestalt der Gegenstände, dazu bei, daß wir uns in den meisten Fällen ein genaues Urtheil über die gegenseitige Lage und Gestalt der Körper bilden können.

Eine Verrückung des Bildes auf der Netzhaut kann Statt finde, dadurch, daß der Gegenstand sich bewegt, oder daß wir uns bewegen

oder daß Beides geschieht. Bemerken wir in den beiden letzten Fällen unsere Bewegung nicht, so schreiben wir die des Bildes allein dem Körper zu und machen also einen falschen Schluß auf seine Bewegung. Dies geschieht z. B., wenn wir in einem Wagen oder Schiffe fahren, wo es uns scheint, als ob sich die Gegenstände neben uns oder am Ufer bewegten; fährt einer von zwei Eisenbahnwagen langsam neben dem andern, so ist es für die Passagiere, wenn sie nicht andre feste Gegenstände zur Seite sehen, unmöglich, zu wissen, ob sie oder der daneben befindliche Wagen sich bewegen. Die bekannteste Täuschung dieser Art ist die scheinbare Bewegung des Himmelsgewölbes um die Erdachse, und ebenso gehört hierher die scheinbar rückläufige Bewegung der Planeten.

Bisher haben wir nur die Wirkung eines einzelnen Auges betrachtet. Die Sehnerven beider Augen vereinigen sich im Gehirn und bringen dort einen gemeinschaftlichen Eindruck hervor. Daher sehen wir mit beiden Augen nur einfach. Daß beide Eindrücke sich zu einem verbinden, sieht man sehr deutlich, wenn man zwei kleine gleichfarbige Oblaten neben einander auf einen Tisch gegen das Licht legt und die Stirn so auf den Tisch stützt, daß jede Oblate sich unter einem Auge befindet. Man kann es dann durch ein geringes Verrücken der Oblaten leicht dahin bringen, daß man nur eine Oblate zu sehen glaubt. — Durch das Zusammenwirken beider Augen wird aber der gemeinschaftliche Eindruck genauer bestimmt. Indem nemlich beide Augen etwas verschiedene Eindrücke empfangen, weil sie den Körper von etwas verschiedenen Punkten aus sehen, so erhalten wir gerade erst hierdurch den Eindruck des Körperlichen. Darauf beruhen die jetzt so bekannten Stereoskope; derselbe Gegenstand wird in 2 Zeichnungen dargestellt, die nur so weit von einander abweichen, als der wirkliche Körper von beiden Augen etwas verschieden gesehen werden würde. Beide Zeichnungen, die gleichzeitig, jede dem entsprechenden Auge dargeboten werden, bringen nun den Eindruck hervor, daß man geradezu einen Körper zu sehen glaubt. Sind dagegen die Eindrücke auf beiden Netzhäuten einander widersprechend, indem die Anordnung der Bilder zweier Gegenstände auf der Netzhaut beider Augen entgegengesetzt ist, so erscheint uns der eine Gegenstand in der That doppelt. Sehen z. B. beide Augen nach dem Punkte A (Fig. 167.), dessen Bilder also A′ und A″ sein werden, so erblickt das Auge I den Gegenstand B links von A, weil sein Bild B′ ist, das Auge II dagegen rechts von A, und so erscheint uns denn der Gegenstand B zu beiden Seiten von A zu stehen, also doppelt da zu sein. — Endlich besitzen wir dadurch, daß wir mit zwei Augen sehen, ein wichtiges Mittel, auf die Entfernung naher Gegenstände zu schließen. Die Achse eines jeden Auges richtet sich nemlich gegen den Gegenstand, welchen wir sehen wollen; aus der

Fig. 167.



gegenseitigen Neigung dieser Achsen, die nach der Entfernung verschieden ist, können wir daher die letztere beurtheilen. Hängt man z. B. einen Ring an einem Faden auf, stellt sich in die Ebene des Ringes und versucht mittelst eines Stabes, der mit einem Haken versehen ist, die Oeffnung des Ringes zu treffen, so gelingt dies leicht, wenn beide Augen geöffnet sind, aber nicht sogleich, wenn eines geschlossen wird. Bei größerer Entfernung der Körper ändert sich freilich jene Neigung so unbedeutend, daß sie nicht mehr zur Bestimmung der Weite beitragen kann.

Gesch. Bem. zu den Erscheinungen des Lichtes. Schon die Alten kannten die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes und die darauf beruhenden Gesetze der Perspective; ferner war ihnen das Gesetz der Spiegelung bekannt; sie hatten Planspiegel und Hohlspiegel, die sie als Brennspiegel zu benutzen verstanden; ja man sagt, daß Archimedes sich bei der Vertheidigung von Syrakus (G. B. zu § 17.) auch der Brennspiegel bedient habe. Auch die gewöhnlichen Erscheinungen der Brechung der Lichtstrahlen werden erwähnt; aber die Art und Stärke dieser Ablenkung wurde erst sorgfältiger von einem arabischen Mathematiker Alhazen um 1100 untersucht, das genaue Gesetz aber nach vielen Bemühungen von Snellius 1621 gefunden und von dem berühmten französischen Philosophen Descartes (geb. 1596, gest. 1650), der jedoch den eigentlichen Entdecker nicht nannte, bekannt gemacht. Mit Hülfe desselben gab Descartes eine sehr genaue Ableitung des Regenbogens. Die Erklärung der Farbenerscheinungen, namentlich soweit sie auf der Brechung durch das Prisma beruhen, gab Newton (G. B. zu § 7.) 1666, in dem er in einer genau geordneten Reihe von Versuchen die Grundsätze der Farbenzerstreuung entwickelte.

Dritter Abschnitt.

Erscheinungen der Wärme.

Erste Abtheilung. Die Ausdehnung durch die Wärme.

§ 94. Die Ausdehnung im allgemeinen.

Macht man sich von Eisendraht einen Ring, durch den eine Kugel von Eisen oder Messing gerade hindurchgeht, wirft die Kugel ins Feuer und zieht sie nach einiger Zeit heraus, so wird sie nicht mehr durch den Ring gehen; läßt man sie aber auf demselben liegen, so wird sie, nachdem sie sich abgekühlt hat, wieder hindurch fallen. Ein Plätteisen, welches kalt ganz locker in der Plätte liegt, füllt glühend den Raum vollständig aus; ein Topf, welcher kalt gerade durch die Ofenthüre ging, läßt sich erwärmt nicht mehr durch dieselbe herausziehen. Erhitzt man Wasser in einem Glase, so sieht man, daß es nach und nach etwas höher steigt, und war der Topf vorher voll von Wasser, so läuft es über. Legt man eine genau zugebundene Blase

auf den Ofen, so schwillt dieselbe auf; taucht man einen Glaskolben, den man vorher zum Theil mit Wasser gefüllt hatte, mit der Oeffnung in Wasser und erwärmt den oberen Theil desselben, so treibt die Luft, indem sie sich ausdehnt, das Wasser heraus; bei eintretender Abkühlung zieht sich die Luft wieder zusammen, und die äußere Luft treibt das Wasser in den Kolben zurück; setzt man auf ein halb mit Wasser gefülltes Fläschchen einen Kork, durch den eine feine Glasröhre geht, die in das Wasser taucht, so genügt die Wärme der Hand, mit der man das Fläschchen umfaßt, das durch die ausgedehnte Luft verdrängte Wasser in der Röhre steigen zu sehen. Aus allen diesen und unzähligen andern Vorgängen ergiebt sich das Hauptgesetz:

Alle Körper werden durch die Wärme ausgedehnt.

Für feste Körper findet diese Ausdehnung zwar nur in geringerem Maaße Statt, aber mit außerordentlich großer Gewalt. Eine nur scheinbare Ausnahme besteht darin, daß Holz, Thon, Brot und ähnliche Körper sich in der Wärme zusammenziehen; dies beruht nemlich darauf, daß sie das in ihren Poren befindliche Wasser verlieren; auch dehnen sie sich aus, sobald sie gehörig getrocknet sind. Auf der Ausdehnung der festen Körper, die für die verschiedenen Körper sehr verschieden ist, beruht das Rostpendel und das Compensationspendel. Da nemlich ein Pendel durch die Wärme ausgedehnt wird, bei verminderter Wärme sich zusammenzieht, so kann der von der Länge des Pendels abhängige Gang der Uhr nicht gleichmäßig sein. Man wendet daher die Vorrichtung in Fig. 168. an; die Stangen e, e, e zu beiden Seiten und in der Mitte sind von Eisen; sie werden bei größerer Wärme sich ausdehnen und die Linse herabdrücken; die Stangen zz dagegen, die von Zink sind, werden in gleichem Falle die mittlere Stange e und damit zugleich die Linse in die Höhe heben; das Umgekehrte tritt bei abnehmender Wärme ein. Da sich nun Zink viel stärker ausdehnt und zusammenzieht, als Eisen, so kann man durch passende Längen der Stangen bewirken, daß die Wirkung der Zink- und der Eisenstangen sich aufhebt. Die ganze Vorrichtung hat die Gestalt eines Rostes und heißt daher ein Rostpendel. Die erste und zugleich vielleicht die vorzüglichste Einrichtung, jenem Uebelstande der veränderlichen Pendellänge abzuhelfen, findet sich in dem Compensationspendel (Fig. 169.). Die eiserne Pendelstange trägt nemlich unten ein Gefäß mit Quecksilber; während nun durch die Wärme die Stange sich nach unten verlängert, steigt das Quecksilber, welches sich viel stärker ausdehnt, in dem Gefäße, so daß der Schwingungspunkt unverändert bleibt. Eine dritte Vorrichtung für Taschen-

Fig. 168.

Fig. 169.

Fig. 170.

uhren (Fig. 170.) besteht aus zwei gekrümmten, an einander geschraubten Metallstreifen c von Zink und Eisen, an deren einem Ende sich eine kleine Goldkugel m befindet. Zwei solcher Doppelstreifen, an welchen das Zink den äußern, das Eisen den inneren Streifen bildet, werden an das Schwungrad der Unruhe befestigt. Steigt die Wärme, so dehnt sich Zink stärker aus, und es krümmt sich der Streifen so, daß die Kugeln m, m dem Mittelpunkte genähert werden; fällt dagegen die Temperatur, so zieht sich Zink schneller zusammen, als Eisen, der Streifen krümmt sich so, daß sich m entfernt. In jenem Falle wirken die Kugeln schwächer, in diesem stärker. Wird daher die Spiralfeder, deren Kraft die Bewegung der Uhr regulirt, durch die Wärme länger, so braucht sie wegen der genäherten Kugeln m, m nur eine geringere Kraft anzuwenden; verkürzt sich die Feder durch die Kälte, so muß sie umgekehrt stärker wirken; und so bleibt ihr Gang auch bei verschiedenen Temperaturen gleichmäßig. — So wie hier durch die ungleiche Ausdehnung zweier Metalle eine größere oder geringere Krümmung hervorgebracht wurde, so wird eine solche auch verursacht, wenn beide Seiten eines Körpers ungleich erwärmt werden; daher krümmt sich ein Stück Papier, welches auf den Ofen gelegt wird, indem sich die den Ofen berührende Seite stärker ausdehnt; aus gleichem Grunde krümmen sich oft die Ofenthüren. Ist der Körper von der Art, daß er eine solche Krümmung nicht gestattet, so zerspringt er; dies geschieht bekanntlich leicht, wenn man ein Glas auf einen heißen Ofen stellt, oder dasselbe, indem man kochendes Wasser hineingießt, an einzelnen Stellen stark erwärmt; oder wenn die Flamme der Lampe den Cylinder an einer bestimmten Stelle zu stark erhitzt. — Bedeutender, als die Ausdehnung der festen Körper, ist die der *flüssigen* durch die Wärme. Auf ihr beruhen die üblichsten Thermometer, von denen der folgende Paragraph handeln wird. Besonders merkwürdig ist aber, daß das *Wasser seine größte Dichtigkeit schon bei* 4° C. *oder* $3\frac{1}{5}$° R. *hat*, und sich bei größerer Abkühlung von neuem ausdehnt. Die wichtige Bedeutung dieser wirklichen Ausnahme soll später (§ 100.) erörtert werden. — Am bedeutendsten ist die Ausdehnung der luftförmigen Körper durch die Wärme und *für alle gleich groß*; zugleich nimmt man an, daß *sie unter allen Temperaturen vollkommen gleichmäßig geschehe*; die Luft und alle Gasarten dehnen sich nemlich für 80° R. um $\frac{1}{4}$ ihres Volumens aus, d. h. 3 Kubikzoll Luft von 0° nehmen bei 80° einen Raum von 4 Kubikzoll ein. Die durch die Wärme ausgedehnte Luft wird leichter und steigt daher in die Höhe, während die kalte Luft unten von der Seite einströmt. Dies zeigt sich am deutlichsten, wenn man eine Scheibe von leichtem Papier spiralförmig ausschneidet und in der Mitte auf einen Stift hängt und diese Papierschlange auf den Ofen stellt. Die in die Höhe steigende Luft drückt gegen das schräg her-

abhängende Papier und dreht die Windungen so, daß sie sich fortwährend zu heben scheinen, indem sie ebenso, wie der Wind auf die Windmühlflügel (§ 3.), wirkt. — Befinden sich zwei verschieden erwärmte Luftschichten neben einander, so dringt die kältere unten in die wärmere und die wärmere oben in die kältere; die kältere übt nemlich unten einen stärkeren Seitendruck aus und hebt dadurch die wärmere, die so gedrückt nun ihrerseits oben einen verstärkten Seitendruck ausübt. Hält man im Winter ein Licht in die Spalte einer etwas geöffneten Thüre, so wird die Flamme durch die einströmende kalte Luft unten herein-, durch die ausströmende warme Luft oben hinausgetrieben. Auf ähnlichem Grunde beruhen die meisten Winde, worüber das Nähere in § 108. angegeben werden wird.

Gesch. Bem. Das obige Gesetz der gleich großen und gleichmäßigen Ausdehnung aller Gasarten haben 1802 zu gleicher Zeit und unabhängig von einander Dalton und Gay Lussac (G. B. zu § 33. und 34.) entdeckt. Doch ist zu bemerken, daß die Gleichmäßigkeit nur eine Annahme ist, die zwar durch die Richtigkeit der daraus gezogenen Folgerungen bestätigt, aber nicht durch Experimente nachgewiesen werden kann, ferner daß die Gleichheit sich neuerdings für die verschiedenen Luftarten nicht als absolut genau gezeigt hat. — Den ersten Gedanken, durch Verbindung zweier Metalle eine gleichförmige Pendellänge zu erhalten, scheint Georg Graham, ein berühmter englischer Künstler, (geb. 1675, gest. 1751 und in der Westminsterabtei beigesetzt,) 1715 gehabt zu haben; aber erst 1722 gelang es ihm, seinen Zweck mit Hülfe des Quecksilbers (s. o.) zu erreichen. Unabhängig davon erfand 1726 Harrison (geb. 1693, zuerst Zimmermann, gest. 1776) das Rostpendel, und brachte später an den Taschenuhren eine Compensation an. Er verbesserte dadurch dieselben so, daß eine solche auf einer Fahrt nach Jamaika in 161 Tagen nur um 1 Min. 5 Sek. abwich, wofür er vom Parlament einen Preis von 5000 Pfd. Sterling erhielt; mit rastlosem Eifer arbeitete er an weiterer Verbesserung und erhielt 1765 für eine noch bessere Uhr 10,000 Pfd. Sterl.

§ 95. Die Thermometer.

Die Wärme giebt sich unserem Gefühle zu erkennen; da dasselbe aber sehr trügerisch ist, so bedürfen wir eines genaueren Mittels zur Vergleichung verschiedener Wärmegrade. Das allbekannte Instrument, welches zu diesem Zwecke dient, heißt Thermometer und beruht ebenfalls auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

Fig. 171.

— Das Thermometer (Fig. 171.) ist eine feine Glasröhre, welche oben geschlossen ist und unten in eine Kugel ausläuft. In der Kugel und einem Theile der Röhre befindet sich gewöhnlich Quecksilber, welches durch die Wärme ausgedehnt in der Röhre steigt. Eine an der Glasröhre angebrachte Skala zeigt, wie groß die durch die Wärme hervorgebrachte Ausdehnung ist. Man bestimmt zur Vergleichung verschiedener Thermometer zwei feste Punkte, den Eispunkt oder Gefrierpunkt, d. i. derjenige, an dem das Quecksilber steht, wenn das Thermometer in schmelzenden Schnee getaucht wird, ferner den Siedepunkt, d. i. derjenige, an dem das Quecksilber in Dämpfen von siedendem Wasser steht. Der Zwischenraum wird nach Réau-

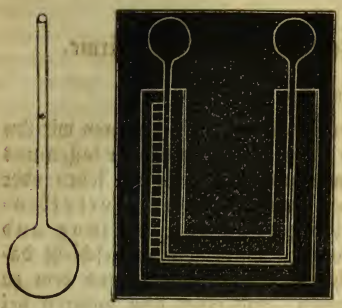
mur in 80, nach Celsius in 100 gleiche Theile getheilt, die man Grade nennt *). Dergleichen Theile bestimmt man dann auch noch über dem Siedepunkte und unter dem Eispunkte, und nennt die letzteren Kältegrade, die über dem Eispunkte Wärmegrade, der Eispunkt selbst ist der Nullpunkt; beim Schreiben bezeichnet man die Kälte- und Wärmegrade durch die vorgesetzten Zeichen — und +. — Das Queckſilber wird als Füllung vorgezogen, weil es ſich bei gleicher Wärmezunahme gleichmäßig ausdehnt; dies geſchieht jedoch nicht mehr für große Kältegrade, bei denen das Queckſilber überdies gefriert; man benutzt dann Thermometer, die mit Weingeiſt gefüllt ſind. Aus ähnlichem Grunde kann man mit den gewöhnlichen Queckſilberthermometern ſehr hohe Hitzegrade nicht beobachten und man bedient ſich dann anderer Inſtrumente, die man Pyrometer (Feuermeſſer) nennt.

Es erſcheint zweckmäßig, hier die Hauptunterſchiede der beiden üblichſten phyſikaliſchen Inſtrumente, des Barometers und Thermometers, zuſammenzuſtellen. 1) Das Barometer beruht auf dem Drucke der Luft, das Thermometer auf der ausdehnenden Kraft der Wärme. 2) Das Barometer iſt daher unten offen, damit dort die Luft drücken könne, und über dem Queckſilber der langen Röhre ein luftleerer Raum, damit dieſer Druck allein durch die Queckſilberſäule gemeſſen werde. Das Thermometer iſt an beiden Seiten geſchloſſen, damit der verſchiedene Luftdruck keinen Einfluß habe, ein luftleerer Raum in demſelben iſt weder nothwendig, noch ſchädlich. 3) Das Barometer hat eine ganz beſtimmte Länge, weil es nicht auf die Maſſe des Queckſilbers, ſondern nur auf die Höhe der Säule ankommt; das Thermometer hat eine ſehr verſchiedene Länge, weil die Länge des Zwiſchenraumes zwiſchen den beiden feſten Punkten von der Feinheit der Röhre und der Größe der Kugel oder der Menge des Queckſilbers abhängt. 4) Das Barometer iſt immer mit Queckſilber gefüllt, weil jede andre Flüſſigkeit wegen der bedeutend größeren Leichtigkeit eine viel zu große Röhre erfordern würde; die Ausdehnung durch die Wärme kann eben ſo am Weingeiſt ja auch an der Luft erkannt werden. 5) Die Skala des Barometers iſt nach einem beſtimmten landüblichen Maaße getheilt, in Linien, Millimeter; jedes Thermometer hat dagegen ſeine eigenen Grade, weil der Abſtand der feſten Punkte für jedes eine beſondere Länge hat. 6) Das Barometer hat ſeine Skala nur an dem oberen Theile, weil der Umfang der Barometerſchwankungen ſehr gering iſt, das Thermometer dagegen an der ganzen Röhre.

Anm. Es giebt auch Lufttthermometer. Eine Glaskugel (Fig. 172.) mit einer Röhre, in der ſich vollkommen trockene Luft befindet, wird durch einen Queckſilbertropfen verſchloſſen. Die ſich ausdehnende Luft treibt den Tropfen in die Höhe; eine Skala giebt die Grade der Ausdehnung an.

*) Die Eintheilung von Fahrenheit, die in England gebraucht wird, iſt ſo beſchaffen, daß der Eispunkt mit + 32°, der Siedepunkt mit + 212° bezeichnet, der Raum zwiſchen beiden alſo in 180° getheilt iſt.

Fig. 172. Fig. 173.



Hierbei muß aber jederzeit der auf das Queckſilber wirkende Luftdruck in Rechnung gebracht werden. Ein Luftthermometer iſt auch die in Fig. 173. dargeſtellte Vorrichtung. Beide Röhren laufen in Kugeln aus, in denen ſich Luft über einem feinen Queckſilberfaden befindet. Erwärmt man nun die eine Kugel, ſo dehnt ſich die Luft in derſelben aus und treibt das Queckſilber in der andern Röhre in die Höhe. Sind aber beide Kugeln gleich ſtark erwärmt, ſo ſteht es auf beiden Seiten gleich hoch; dieſes Thermometer zeigt daher nur den Unterſchied der Wärme in beiden Kugeln an, und daher heißt es Differentialthermometer.

Geſch. Bem. Das erſte Thermometer iſt 1597 von Galilei benutzt worden; es war eine Glaskugel mit einer feinen, offenen Röhre, in welcher ſich ein Waſſertropfen befand, der durch die Luft, welche ſich durch die Wärme ausdehnte, in die Höhe ſtieg. Gewöhnlich wird Cornelius Drebbel, der Sohn eines Landmannes zu Alkmaar in Holland, als der Erfinder des Thermometers angegeben. Er war durch ſein mechaniſches Geſchick und ſeine Liebe zu den Naturwiſſenſchaften berühmt und wurde Erzieher der Söhne des Kaiſers Ferdinand II. Sein Thermometer vom Jahre 1638 war eine Glaskugel mit enger Röhre, die umgekehrt in gefärbtes Waſſer tauchte. Wenn die Wärme die Luft in der Kugel ausdehnte, ſank das Waſſer in der Röhre. In jenen beiden Thermometern wurde alſo die Luft ausgedehnt. Die Mitglieder der Florentiniſchen Akademie benutzten zuerſt die Ausdehnung einer Flüſſigkeit, nemlich des Weingeiſtes, und gaben dem Thermometer ſeine noch jetzt übliche Geſtalt; doch konnten auch ihre Thermometer noch keineswegs mit einander verglichen werden. Vergleichbare Thermometer wurden zuerſt von einem Danziger Mechaniker Fahrenheit um 1709 verfertigt, der den Weingeiſt durch Queckſilber erſetzte und die ſpäter angenommenen feſten Punkte, die er kannte, wahrſcheinlich auch zur Verfertigung ſeiner Thermometer benutzte, wenn er es auch nicht ausdrücklich hervorhob, ſondern als Nullpunkt die größte Kälte annahm, welche er in dem ſehr ſtrengen Winter von 1709 in Danzig erlebte, und welche er hervorbrachte, wenn er gleiche Theile Schnee und Salmiak miſchte. Jene feſten Punkte, den Gefrier- und den Siedepunkt des Waſſers, beſtimmt (1730) als diejenigen bezeichnet zu haben, nach denen ein Thermometer eingetheilt werden müſſe, iſt das Hauptverdienſt Réaumur's, der jedoch wieder Weingeiſt anwendete, den er natürlich mit Waſſer verdünnen mußte, um ein frühzeitiges Sieden zu verhindern; da ſich 1000 Theile ſeines Weingeiſtes von 0° bis zum Siedepunkte um 80 Theile ausgedehnt hatten, ſo bezeichnete er den Siedepunkt mit 80°. Der Profeſſor Celſius in Upſala endlich nahm 1742 Queckſilber zu feſten Punkten den Gefrier- und Siedepunkt des Waſſers und theilte den Raum zwiſchen beiden genau in 100 Theile. Dieſe Eintheilung iſt die zweckmäßigſte, die ſich daher auch nach und nach immer mehr verbreitet. Gegenwärtig iſt noch die von Réaumur in Deutſchland am üblichſten; doch iſt der Weingeiſt faſt überall mit Queckſilber vertauſcht. Auch die Temperaturangaben dieſes Buches beziehen ſich, wenn Nichts erwähnt iſt, auf die Eintheilung nach Réaumur. — Die Ein-

richtung des Differentialthermometers ist 1800 von Leslie (geb. 1766 in Schottland, gest. 1832) bekannt gemacht worden.

Zweite Abtheilung. Die Fortpflanzung der Wärme.

§ 96. Die Leitung der Wärme.

Wenn ein heißer Körper uns erwärmen soll, so berühren wir ihn entweder, wie wir die Hand an den Ofen halten, oder wir lassen uns von seinen Strahlen treffen, wie wir uns in die Sonne setzen oder vor ein Feuer stellen. Es giebt daher zwei Arten der Fortpflanzung der Wärme: 1) durch Mittheilung oder Leitung und 2) durch Strahlung. Die Erwärmung durch Leitung geschieht dadurch, daß sämmtliche Körper zwischen der Wärmequelle und dem zu erwärmenden ebenfalls erwärmt werden, und einer dem anderen bei der Berührung Wärme mittheilt; sie hört auf, sobald die Berührung aufhört. Für die Erwärmung durch Strahlung ist dagegen erforderlich, daß die dazwischen liegenden Körper die Strahlen durchlassen und daher selbst so wenig als möglich erwärmt werden; sie hört auf, sobald ein Körper dazwischen tritt, der die Strahlen nicht hindurchläßt. Daher unterscheidet man in Bezug auf Leitung gute und schlechte Wärmeleiter, für die Strahlung Körper, die die Wärmestrahlen durchlassen, und solche, die sie nicht durchlassen. — Zunächst soll nun die Fortpflanzung durch Mittheilung oder Leitung betrachtet werden. Hält man eine Stricknadel in das Licht, so ist man sehr bald nicht mehr im Stande, sie festzuhalten, weil sich die Wärme in ihr bis an das andere Ende fortgepflanzt hat. Steckt man dagegen eine Nadel in einen Holzspan und hält sie in die Flamme, so kann sie beliebig erhitzt werden, ohne daß man irgend welche Wärme an der Hand empfindet. Das Holz, an einer Stelle erwärmt, hat die Wärme seinen übrigen Theilen nur wenig und langsam mitgetheilt. Körper der ersten Art, die, an einer Stelle erwärmt, die Wärme schnell allen andern Theilen mittheilen, heißen gute Wärmeleiter, schlechte diejenigen, bei denen dies nicht der Fall ist. Gute Wärmeleiter dienen dazu, a) Wärme leicht zuzuführen, b) Wärme leicht abzuführen; faßt man daher ein sehr heißes Eisen an, so verbrennt man sich bedeutend, was bei einem Stück Holz von gleicher Wärme nicht geschieht; im Winter fühlen sich dagegen eiserne Klinken an Hausthüren sehr kalt an, weil sie der Hand schnell die Wärme entziehen; so verlöschen Räucherkerzchen auf Metallplatten, weil ihnen durch dieselben die zum Brennen erforderliche Wärme genommen wird; darauf beruht auch die Wirkung der Davyschen Sicherheitslampe. (§ 47.) Schlechte Wärmeleiter benutzt man dagegen, a) um Wärme zusammenzuhalten, b) um die Wärme abzuhalten. Zu jenem Zwecke bedienen wir uns der Kleider, der Betten; darauf beruht die Wirkung der Thierbekleidung, des Schnees, welche Dinge sämmtlich keine Wärme hervorrufen, sondern nur den Verlust der vorhandenen oder anderweitig erzeugten Wärme hindern sollen. Darum umwickelt man im Winter die Bäume und Brunnen

mit Stroh, versetzt die Fenster der Keller; aus demselben Grunde glühen die Kohlen lange in der Asche, während sie auf einem Metallbleche bald verlöschen. Um die Wärme abzuhalten, wendet man die hölzernen Griffe an Plätten, Kaffeemaschinen u. s. w. an, legt Papier unter ein Glas, welches auf den Ofen gestellt wird, damit die Erwärmung nur langsam vor sich gehe, bedeckt das Eis, welches für den Sommer aufbewahrt werden soll, mit Stroh und Erde u. s. w. — Zu den guten Wärmeleitern gehören vor allen Dingen die Metalle, zu den schlechten Holz, Stroh, Papier, Schnee, Moos, Wolle, Tuch u. a. m. Es scheint, als wenn die in den Poren derselben enthaltene Luft, die ein schlechter Wärmeleiter ist, besonders dazu beitrage, alle lockeren Körper zu schlechten Wärmeleitern zu machen. — Gießt man auf Wasser eine Schicht heißes Oel, so zeigt ein Thermometer, dessen Kugel in das Oel getaucht wird, eine hohe Temperatur, steigt aber fast gar nicht, wenn die Kugel in das auch nur einige Linien darunter befindliche Wasser taucht. Wirft man ein Stückchen Eis in ein Probirgläschen mit recht kaltem Wasser, so kann man das Wasser oben durch eine Lampe zum Kochen bringen, ohne daß unten das Eis schmilzt. Das Wasser, und so auch die anderen Flüssigkeiten, mit Ausnahme des Queckſilbers, sind also schlechte Wärmeleiter. Erwärmt man dagegen Wasser, wie gewöhnlich, von unten, so steigen die durch die Wärme ausgedehnten Theile, als die leichteren, in die Höhe, und so findet durch diese Strömung die Erwärmung der ganzen Masse sehr schnell Statt, indem jedes Theilchen sich seine Wärme selbst am Boden holt. Ebenso ist es mit der Luft; auch sie ist an sich ein ganz schlechter Wärmeleiter, und als solchen wendet man sie in den Doppelfenstern an; darum können wir auch ohne bedeutenden Wärmeverlust in der Luft leben, während die im Wasser lebenden Thiere Blut von weit niedrigerer Temperatur haben.

§ 97. Die Strahlung der Wärme.

Die andere Art der Fortpflanzung der Wärme ist die Strahlung. Stellt man zwei Hohlspiegel (§ 82.) einander gegenüber, so wird ein in dem Brennpunkt des einen befindliches Thermometer steigen oder fallen, je nachdem man in den Brennpunkt des andern eine glühende Kohle oder ein Stück Eis bringt. Aus diesem Versuche ergiebt sich, daß als Hauptgesetze für die Wärmestrahlen dieselben gelten, die für das Licht bestehen (§ 78.): 1) die Wärmestrahlen gehen geradlinig; daher hört die Erwärmung sogleich auf, sobald ein Schirm in gerader Linie zwischen die Wärmequelle und den Körper tritt; 2) die Erwärmung nimmt ab nach dem Quadrate der Entfernung; 3) sie ist um so stärker, je senkrechter die Strahlen auf den Körper fallen, nicht wegen einer besonderen Eigenschaft der Strahlen; sondern weil, wie wir beim Lichte gesehen haben, im letzteren Fall den Körper eine größere Menge der Strahlen trifft. Daher erwärmt die Sonne die Erde im Sommer und am Mittag am stärksten. — Zunächst muß man sich jedoch hüten, bei der Wärmestrahlung stets auch an eine Lichterscheinung zu denken; denn obgleich in vielen und gerade den wichtigsten Fällen, bei der Erwärmung durch

die Sonne und durch das Feuer, Licht und Wärme verbunden sind, so giebt es doch sehr wohl eine Wärmestrahlung, ohne daß, wenigstens für unsre Sinne, eine Lichterscheinung Statt fände. Dies sehen wir an einem Ofen, dessen Hitze man oft schon in ziemlicher Entfernung empfindet, während dieselbe bei einem dazwischen gestellten Schirme augenblicklich aufhört, also uns nicht etwa durch die erwärmte Luft vermöge der Leitung zugeführt wurde. Bedenkt man zugleich, daß Warm und Kalt nur größere oder geringere Wärmegrade bezeichnen, so kommt man zu der durch die Erfahrung bestätigten Annahme, daß alle Körper und bei jeder Temperatur Wärme ausstrahlen, und zwar desto mehr, je wärmer sie sind. Dagegen empfängt aber auch jeder Körper Wärme von den ihn umgebenden, welche dieselbe ausstrahlen, und wenn sich die Temperatur mehrerer Körper in einer gewissen Zeit nicht ändert, so muß jeder so viel Wärme ausgestrahlt haben, als er eingenommen hat. Seine Temperatur wird abnehmen, wenn er mehr ausstrahlt, und wird wachsen, wenn er mehr aufnimmt. Da nun die Wärme der Erde seit Jahrtausenden an Wärme weder zu- noch abgenommen hat, so muß sie gerade so viel in den Himmelsraum ausstrahlen, als sie von der Sonne empfängt. Dagegen kühlt sie sich allerdings in den Nächten durch Ausstrahlung ab, am meisten in heiteren Nächten, in denen keine Strahlen von den Wolken zurückgeworfen werden; daher schützen die Gärtner junge Pflanzen vor Nachtfrost durch dünne Matten, welche nur dazu dienen sollen, ihnen die ausgestrahlte Wärme zurückzugeben. Ebenso bewahren die Reisenden der Wüste ihre Augen während des Schlafes vor der Gefahr des Erblindens, durch ein auf dieselben gelegtes Palmblatt, und die Peruaner sollen in hellen Nächten über ihren Getreidefeldern zu gleichem Zwecke einen starken Rauch erzeugen.

Außerdem gelten für die Strahlung der Wärme noch folgende Gesetze: 1) Alle Körper strahlen einen Theil ihrer Wärme aus. 2) Körper, welche die auf sie fallenden Wärmestrahlen nicht durchlassen, absorbiren oder verschlucken einen Theil derselben, wodurch sie selbst warm werden, den anderen Theil strahlen sie zurück. 3) Andere Körper lassen einen Theil der auf sie fallenden Wärmestrahlen durch, strahlen einen anderen Theil zurück und absorbiren einen dritten, wodurch sie selbst warm werden. In den beiden ersten Fällen kommt es auf die Oberfläche der Körper an, wie groß der Theil sein soll, welchen die Körper ausstrahlen, welchen sie zurückstrahlen, und welchen sie absorbiren. Da aber die Körper, die nicht wie die lebenden Geschöpfe in sich Wärme erzeugen, an sich weder eine hohe, noch eine niedrige Temperatur zeigen, so ist klar, daß das Vermögen, Wärme aufzunehmen, dem Vermögen, Wärme auszustrahlen, entsprechen muß, oder: je mehr ein Körper Wärme absorbirt, desto mehr muß er auch ausstrahlen*). Offenbar wird aber

*) Wie für das Durchlassen der Wärmestrahlen (s. u.) ist auch für die Absorption die Quelle, aus welcher dieselben kommen, nicht gleichgültig und daher obiges Gesetz nur im allgemeinen gültig.

ein Körper desto mehr absorbiren, je weniger er zurückstrahlt. Dieses Zurückstrahlen findet nun im allgemeinen am stärksten bei Körpern mit glatter Oberfläche Statt, und so ergiebt sich, daß im allgemeinen das Ausstrahlen und Absorbiren bei Körpern mit rauher Oberfläche am bedeutendsten sein wird. Unter sonst gleichen Umständen nimmt mit vermehrter Dichtigkeit der Oberfläche das Ausstrahlen und Absorbiren ab. Von allen Körpern absorbirt eine mit Kienruß überzogene Oberfläche die Strahlen am vollkommensten und strahlt am stärksten Wärme aus; doch wirkt auch ein Ueberzug von Bleiweiß sehr kräftig; am geringsten findet Beides bei Körpern mit metallischer Oberfläche Statt. Daher wird eine in die Sonne gelegte, polirte Metallplatte wenig erwärmt, wohl aber die Stelle der Wand, wohin sie die Strahlen sendet; ein Thermometer, dessen Kugel mit Ruß überzogen ist, steigt, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, weit höher, als ein gewöhnliches; in berußten Töpfen kocht das Wasser eher, als in hellen, porzellanenen Gefäßen; in letzteren dagegen bleiben die Speisen länger warm, als in dunklen. Schwarze Kleider sind bekanntlich wärmer, als weiße, und Wände, an denen Wein gezogen wird, schwärzt man. Bekannt ist auch Franklins Versuch, der auf eine von der Sonne beschienene Schneefläche schwarze und weiße Tuchflecke legte; dann schmolz der Schnee unter den dunklen viel stärker, als unter den hellen.

Was diejenigen Körper betrifft, die die Wärmestrahlen zum Theil durchlassen, so ist zunächst klar, daß ein Körper desto weniger erwärmt wird, je mehr Strahlen er selbst hindurchläßt. So werden die Fensterscheiben, die Luft nur wenig durch die Sonnenstrahlen erwärmt; im Brennpunkte eines Brennglases vermag man selbst Gold zu schmelzen, aber nicht Wasser zu sieden, nicht einmal die Luft in eine zitternde Bewegung zu versetzen, weil die Strahlen hindurchgehen. — Es ist übrigens nicht gleichgültig, aus welcher Wärmequelle die Wärmestrahlen entspringen; so läßt Glas die Sonnenstrahlen leicht durch, nicht aber die von anderen Körpern ausgehenden Wärmestrahlen. Hierauf beruht der Nutzen der Glasscheiben auf Mistbeeten, die die Sonnenstrahlen hereinlassen, aber den Wärmeverlust durch Strahlung nach außen verhindern. — Die Luft ist zwar derjenige Körper, welcher unter allen die Wärmestrahlen am besten hindurchläßt; wie jedoch oben bereits bemerkt wurde (§ 83.), daß ein großer Theil der Lichtstrahlen in der Atmosphäre zerstreut wird, so wird auch ein bedeutender Theil der Wärmestrahlen durch sie absorbirt, dessen Größe zwar nicht genau bestimmt werden kann, aber auch bei ganz heiterem Himmel und hohem Sonnenstande mehr als $\frac{1}{3}$ der Wärme beträgt, welche die Sonnenstrahlen ohne diese Schwächung ausüben würden. Daher ist die Wärme des direkten Sonnenlichtes viel stechender auf Bergen. Dessenungeachtet nimmt die Wärme der Luft mit der Höhe ab. Denn die Hauptursache der Erwärmung der Luft ist die Erde, welche, nachdem sie selbst durch die Sonnenstrahlen erwärmt worden ist, diese Wärme der Luft theils durch Leitung, theils durch Strahlung mittheilt. Es ist klar, daß in beiden Fällen die Erwärmung der Luft um so geringer sein wird, je weiter sie von der Wärmequelle, der Erde, ent-

fernt ist; denn die untere, dichtere Luft wird mehr Wärmestrahlen absorbiren, so daß überhaupt nur ein geringerer Theil die oberen Schichten erreicht. Ein anderer Grund für die Abnahme der Wärme mit der Höhe wird später (§ 106.) angegeben werden.

An dieser Stelle dürfte es nicht unzweckmäßig sein, noch eine kurze Anwendung der vorstehenden Gesetze auf die Erwärmung unserer Wohnungen durch die Hitze des Ofens zu machen. Dieselbe kann einmal vorzugsweise durch Strahlung geschehen, wie bei den eisernen Oefen mit rauher, schwarzer Oberfläche. Dann werden die undurchsichtigen Gegenstände der Stube, welche von den Strahlen getroffen werden, sehr schnell erwärmt, die Wärme wächst bedeutend, je mehr man sich dem Ofen nähert, die Luft selbst wird dagegen wenig erwärmt; daher können die Fenster abthauen, die von den Strahlen getroffen werden, während hinter einem Vorhange desselben Fensters noch eine sehr niedrige Temperatur herrscht; nach dem Verlöschen des Feuers hört auch die Wärme sehr bald auf. Andererseits kann aber auch die Erwärmung durch Mittheilung geschehen, und dies findet besonders bei glatten Kachelöfen Statt. Die nächste Luftschicht wird erwärmt, steigt in die Höhe und macht einer kälteren Platz, so daß nach und nach jedes Lufttheilchen sich an der Wärmequelle erwärmt. In diesem Falle wird die Wärme also vorzugsweise der Luft mitgetheilt und durch diese erst den übrigen Gegenständen. Es findet daher in einem gewissen Umfange auch kein so großer Unterschied zwischen der Wärme naher und entfernter Gegenstände Statt; dagegen nimmt die Wärme mit der Höhe zu; die Wärme ist ferner andauernd, sowohl im Ofen, als auch in der Stube.

§ 98. Die specifische Wärme.

Zwei verschiedene Körper von gleichem Gewicht und gleicher Temperatur können einen sehr verschiedenen Einfluß auf die Erwärmung eines dritten Körpers ausüben. Sollen 1 Pfund Eisen von 100° und 1 Pfund Blei von 100° zum Schmelzen von Eis benutzt werden, so wird, wenn das Eisen um 10° gesunken ist, eine weit größere Menge Eises geschmolzen sein, als wenn das Blei um 10° gesunken ist. Umgekehrt bedarf es einer größeren Hitze, die Temperatur von 1 Pfund Eisen um 10° zu erhöhen, als die eines Pfundes Blei. Trotz gleicher Temperatur besitzt also das Eisen dennoch eine kräftigere Wärme; man sagt, Eisen hat eine größere specifische Wärme, als das Blei. Ein Körper, welcher eine größere specifische Wärme, als ein anderer von gleicher Temperatur hat, zeigt dies also in doppelter Weise: 1) er entwickelt mehr Wärme, wenn er die seinige abgiebt, 2) er bedarf mehr Wärme, um zu einer höheren Temperatur zu gelangen. Das Wasser hat nächst dem Wasserstoff unter allen festen, flüssigen und luftförmigen Körpern die größte specifische Wärme. Diejenige unbenannte Zahl, welche angiebt, wie vielmal mehr Wärme erforderlich ist, um die Temperatur eines Körpers um einen Grad zu erhöhen, als eine gleich große Gewichtsmenge Wassers, heißt die specifische Wärme des Körpers.

Anm. Wir fügen zur genaueren Erläuterung des Obigen noch einige Beispiele hinzu. Wenn 5 Pfd. Wasser von 20° und 10 Pfd. Wasser von 50° vermischt werden, ohne daß Wärme anderweitig zugeführt wird oder nach außen verloren geht, so wird sich die Temperatur beider Wassermengen dergestalt ausgleichen, daß nach einiger Zeit sämmtliche 15 Pfd. eine Temperatur von 40° haben. Man kann sagen, 5 Pfd. von 20° haben so viel Wärme, um 100 Pfd. um 1° zu erhöhen, und 10 Pfd. von 50° soviel, um 500 Pfd. um 1° zu erhöhen; beide zusammen also soviel, um 600 Pfd. um 1° zu erhöhen. Da diese Wärme sich aber auf 15 Pfd. gleichmäßig vertheilen soll, so hat jedes derselben eine Wärme von 40°. Bringt man dagegen 5 Pfd. Wasser von 20° und 10 Pfd. Eisenspäne von 50° mit einander zusammen, so steigt die Mischung nur auf 26°; die 10 Pfd. Eisen erniedrigen sich also um 24°, und erhöhen dadurch die Temperatur von 5 Pfd. Wasser nur um 6°, so daß also 10 Pfd. Eisen von 24°, die also 240 Pfd. Eisen um 1° erhöhen könnten, nur soviel Wärme enthalten, als 5 Pfd. Wasser von 6°, die 30 Pfd. Wasser um 1° erhöhen würden. Die Wärme des Wassers ist also 8 mal so groß, als die des Eisens; die spec fische Wärme des letzteren also $\frac{1}{8}$. — Mischt man 1 Pfd. Eisen von 45° mit 1 Pfd. Wasser von 0°, so muß die Wärme des Eisens sich auf 9 Theile vertheilen, von denen das eine Pfund Wasser 8 erhält; das Eisen erniedrigt sich also bis auf 5°, und das Wasser steigt um 5° u. s. w.

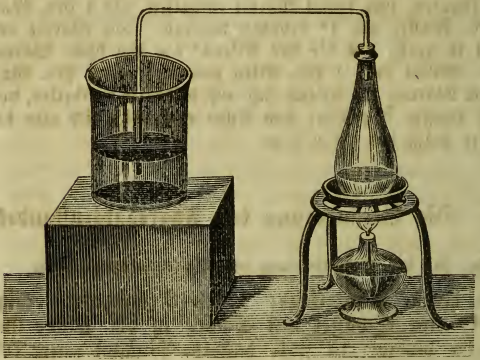
Dritte Abtheilung. Die Veränderung des Aggregatszustandes.

§ 99. Die Gesetze für die Veränderung des Aggregatszustandes.

Bringt man an einem Wintertage, dessen Temperatur einige Grade unter Null ist, eine Schüssel mit Schnee in die Stube und taucht ein Thermometer hinein, so sinkt dasselbe zunächst unter 0°, nach und nach steigt es aber bis auf 0°, indem die Wärme des Zimmers sich dem Schnee mittheilt; hierauf fängt der Schnee an zu schmelzen, und so lange dies dauert, ändert sich der Stand des Thermometers nicht, obgleich dem Schnee fortwährend Wärme zugeführt wird. Dasselbe zeigt sich, wenn man zur Beschleunigung des Schmelzens die Schüssel auf das Feuer setzt. Diese verwendete Wärme zeigt sich also nicht in der Temperaturerhöhung des Körpers, sondern in der Veränderung des Aggregatszustandes. — Erst nachdem aller Schnee geschmolzen ist, steigt das Thermometer, und dies geschieht bei weiterer Erhitzung des Wassers, bis das Wasser in Kochen geräth, wobei sich Wasserdämpfe bilden. Dann behält das Thermometer abermals seinen Stand unverändert bei, obgleich auch hier eine fortwährende Wärmezunahme erfolgt. Es ist eine allgemein bekannte Erfahrung, deren Ursache in der ausdehnenden Kraft der Wärme liegt, daß die Wärme den Aggregatszustand der Körper verändert, feste Körper in flüssige, flüssige in luftförmige verwandelt. (Schmelzen, verdampfen, kochen..) Aus dem obigen Vorgange sind aber über diese Veränderungen folgende Gesetze sichtbar geworden: 1) Die Temperatur an den Uebergangspunkten ist eine fest bestimmte und ändert sich während des Ueberganges nicht. 2) Geht ein Körper aus dem festen Zustande in den flüssigen, aus dem flüssigen in den

luftförmigen über, so ist dazu eine große Menge Wärme nöthig, ohne daß die Temperatur des Körpers steigt; die verwendete Wärme zeigt sich nicht in einer Temperaturerhöhung, sondern in der Aenderung des Aggregatszustandes. — Umgekehrt gehen bei Erniedrigung der Temperatur luftförmige Körper in flüssige, flüssige in feste über. (Sich niederschlagen, gefrieren, gerinnen.) Daher verwandeln sich die Wasserdämpfe, die von kochendem Wasser aufsteigen, an einem darüber gehaltenen Deckel, durch den sie abgekühlt werden, in Wassertropfen, werden also flüssig, und Jeder weiß, daß das flüssige Wasser durch die Kälte des Winters zu festem Eise erstarrt. Lasse ich (Fig. 174.) die beim Kochen des Wassers gebildeten Dämpfe durch eine geeignete Vorrichtung in ein Glas mit kaltem Wasser übergehen, so werden sie hier abgekühlt und verwandeln sich sogleich in Wasser; dabei entwickeln sie eine solche Wärme, daß sie nach einiger Zeit das Wasser zum Kochen bringen. Obgleich sie also selbst nur eine Wärme von 80° besaßen, haben sie doch dem Wasser dieselbe Wärme mitgetheilt. Die Dämpfe haben, indem sie zu Wasser wurden, eine bedeutende Wärme entwickelt, ohne selbst eine Temperaturerniedrigung zu erfahren. Läßt man ein Fläschchen mit Wasser, welches man mit einer Oelschicht bedeckt, ganz ruhig im Freien an einem kalten Wintertage erkalten, so sinkt es mehrere Grade unter Null; wird es dann geschüttelt, so gefriert nur ein Theil davon und die Temperatur des Ganzen steigt wieder auf 0°. Bei dem Gefrieren des einen Theiles ist also auch hier dem anderen Theile Wärme abgegeben worden und selbst die Temperatur des gefrornen Wassers hat sich erhöht. So ergiebt sich ein drittes Gesetz, welches die Umkehrung des zweiten ist: 3) Geht ein Körper aus dem luftförmigen Zustande in den flüssigen, oder aus dem flüssigen in den festen über, so entsteht dadurch eine große Menge Wärme, ohne daß die Temperatur des Körpers fiele; der Verlust der entwickelten Wärme zeigt sich nicht in einer Temperaturerniedrigung des Körpers, sondern in der Veränderung des Aggregatszustandes. Diese Wärme nun, deren Verlust oder Zunahme an dem Körper selbst nicht durch Instrumente zu merken ist, heißt latente Wärme; man sagt, die Wärme sei gebunden in flüssigen und luftförmigen Körpern, und sie werde frei beim Ueber-

Fig. 174.



gange in den festen und flüssigen Zustand. — Es giebt eine zahlreiche Menge von Erscheinungen, die in diesen Gesetzen ihre Erklärung finden. So zeigt sich die frei werdende Wärme in der Erhitzung der Kühlfässer, durch welche die Branntweinröhren geleitet werden, damit der luftförmige Alkohol flüssig (§ 50.) wird; ferner bei dem Löschen des Kalkes (§ 43.), indem das Wasser sich mit dem Kalke zu einem festen Körper vereinigt. Ebenso ist es beim Krystallisiren; erhitzt man Wasser mit sehr viel Glaubersalz in einem Gläschen bis zum Sieden, verkorkt darauf das Fläschchen schnell und läßt es ganz ruhig stehen, so erkaltet es, ohne daß eine Krystallisirung vor sich geht; öffnet man aber den Pfropfen nach dem Erkalten, so tritt eine schnelle Krystallisation ein, die mit einer fühlbaren Wärmeentwickelung verbunden ist. Andrerseits empfindet man die vom thauenden Eise gebundene Wärme durch die Kälte, mit welcher der Schnee in der warmen Stube an den Stiefeln zu thauen beginnt; ein gefrorner Apfel, in Wasser gelegt, thaut auf, umzieht sich aber zugleich mit einer Eiskruste, indem die zum Thauen nöthige Wärme dem anstoßenden Wasser entzogen wird. Hierher gehören auch die so genannten Kältemischungen, durch welche eine sehr bedeutende Kälte hervorgebracht werden kann. Mischt man z. B. 1 Th. Schnee mit 1 Th. Kochsalz von 0°, so werden beide, um sich zu vereinigen, flüssig, und dadurch entsteht eine solche Kälte, daß das Thermometer auf — 14° sinkt; ebenso entsteht große Kälte, wenn man Schnee und Salmiak zu gleichen Theilen mischt (G. B. zu § 95.). Hierauf beruht ferner, daß man Wasser in Papier, in zinnernen Gefäßen kochen kann, weil das kochende Wasser alle zugeführte Wärme bindet und die Wärme des kochenden Wassers 80° weder zum Entzünden des Papiers, noch zum Schmelzen des Zinnes hinreicht. Gießt man auf sehr erhitzten Sand Wasser, so geht dieses alsbald unter lebhaftem Zischen und Sprühen in Dampfform über; aber der Sand hat sich zugleich auch auf 80° abgekühlt.

Anm. Die Temperaturen, bei denen die Körper schmelzen und sieden, sind natürlich sehr verschieden, ihre Bestimmung zum Theil sehr schwierig und unsicher; einige wollen wir anführen: Eisen schmilzt bei 1200—1280°, Stahl bei 1100°, Gußeisen 900°, Blei 270°, Zinn 180°, Schwefel 88°, Wachs 48—53°, Talg 32°, Queckfilber — 32°, Alkohol noch unter — 80°. Es siedet der Alkohol unter dem gewöhnlichen Luftdrucke bei 63°, Queckfilber ungefähr bei 280°. Sehr merkwürdig ist es, daß Metallgemische (Legirungen, s. § 44.) gewöhnlich bei niedrigerer Temperatur schmelzen als die einzelnen Metalle. Sehr bekannt ist das Schnellloth der Klempner aus Zinn und Blei, welches eben dieser Eigenschaft seine Verwendung verdankt, ferner das Rose'sche Metallgemisch aus Wismuth, Zinn und Blei, welches schon bei 76° und bei einem weiteren Zusatz von Cadmium sogar bei 56° schmilzt. — Die latente Wärme des Wassers beträgt 63, d. h. ein Pfund Wasser von 63° mit einem Pfund Schnee von 0° gemischt geben 2 Pfund Wasser von 0°; die latente Wärme des Wasserdampfes ist 440, d. h. ein Pfund Wasserdampf von 80° ist im Stande, bei seinem Uebergange in Wasser 440 Pfd. Wasser um 1° oder 5½ Pfund Wasser von 0° bis auf 80° zu erwärmen.

§ 100. Das Gefrieren des Wassers.

Unter allen Körpern ist es ganz vorzüglich das Wasser, dessen Verhalten an den beiden Uebergangspunkten wegen seiner Wichtigkeit in der Natur und im täglichen Leben eine ganz besondere Berücksichtigung verdient. Erkaltet das Wasser allmählich, so zieht es sich zusammen, bis eine Temperatur von 4° C. oder $3\frac{1}{5}$° R. erreicht hat. Von da an dehnt es sich wieder aus, bis es endlich bei 0° wieder dieselbe Dichtigkeit, als bei 8° C. oder $6\frac{2}{5}$ R., erhalten hat. Jetzt beginnen einzelne Theile, namentlich an der Oberfläche und an den Rändern, kleine Eisnadeln zu bilden, die sich nach und nach vermehren und endlich eine feine Haut über dem Wasser ausmachen; die dabei frei werdende Wärme theilt sich den übrigen Theilen mit und hindert diese noch einige Zeit am Gefrieren, bis sie wieder abgekühlt, auch ihrerseits zu Eis werden. So geht also das Gefrieren nur allmählich vor sich. Hierbei findet eine Ausdehnung Statt, indem das Eis von 0° um ein Zehntel leichter, als Wasser von 0° ist; doch zieht sich bei zunehmender Kälte das Eis wieder zusammen. — Dies ist der einfache Hergang. Das Eis schwimmt wegen seiner Leichtigkeit auf dem Wasser, besitzt aber einen außerordentlichen Grad von Härte; hat es bei seiner Bildung nicht Raum, sich auszudehnen, so zerreißt es die Gefäße, in denen es sich befindet; Bäume und Steine, in deren Spalten Wasser gefriert, werden zerrissen, und eben darauf beruht die Verwitterung der Felsgebirge. Man hat die stärksten Kanonenläufe gesprengt, in denen man Wasser, dem nach allen Seiten die Möglichkeit der Ausdehnung genommen war, gefrieren ließ. Jener Umstand, daß das Wasser seine größte Dichtigkeit, also auch seine größte Schwere bei 4° C. hat, ist von großer Wichtigkeit für das Gefrieren größerer stehender Wassermassen in Seen und Teichen. Erkaltet das Wasser nemlich unter 4° C., so bleibt das kältere Wasser, weil es leichter ist, oben und das von 4° dagegen unten, und da die weitere Erkaltung oben vor sich geht, so beginnt auch das Gefrieren oben. Zugleich sind aber Wasser und Eis schlechte Wärmeleiter, so daß der untere Theil noch länger eine höhere Temperatur behält und das Einfrieren einer größeren Wassermasse und bis zu einiger Tiefe nur sehr langsam und erst bei andauernder Kälte erfolgt. So wird die Eisdecke bei uns auch im strengsten Winter nie dicker, als 3—4 Fuß. — Ist dagegen die Wassermasse strömend, wie in einem Flusse, und daher ein ruhiges Lagern der Wasserschichten von verschiedener Temperatur nach ihrem specifischen Gewichte nicht möglich, kühlt sich also die ganze Wassermasse gleichmäßig ab, so beginnt das Gefrieren zuerst an den rauhen Stellen des Ufers und auch des Bodens, an denen sich das Eis am besten ansetzen kann. Es bildet sich dann das sehr lockere, schwammige Grundeis, aus lauter kleinen Eisscheiben bestehend, welches wegen seiner Leichtigkeit sich vom Boden abreißt und an die Oberfläche tritt, dort als Treibeis schwimmt und das weitere Ansetzen von Eis vermittelt. — Für das salzige Meerwasser gelten die obigen Bestimmungen nicht; es hat seine höchste Dichtigkeit nicht bei 4° C. und gefriert auch erst

bei einer Temperatur, die unter Null ist, wobei sich dann zugleich das Salz aussondert, so daß das Meereis nach dem Schmelzen nur süßes Wasser giebt.

Gesch. Bem. Daß die größte Dichtigkeit des Wassers nicht bei 0°, sondern bei einer höheren Temperatur Statt finde, ist zuerst von den Mitgliedern der Florentiner Akademie bemerkt, aber genauer von de Luc (G. B. zu § 103.) festgestellt worden. — Die Bildung des Grundeises, obgleich längst den Fischern u. A. bekannt und auch von einzelnen Physikern beobachtet, ist lange Zeit von den meisten Physikern geradezu geleugnet worden, bis die Thatsache neuerdings durch die sehr umfassenden Untersuchungen des Prof. Hugi in Solothurn 1827 unzweifelhaft festgestellt worden ist; doch ist die obige Erklärung nicht frei von Bedenken.

§ 101. Das Kochen des Wassers.

Erwärmt man ein Fläschchen mit Wasser, so sieht man, besonders wenn man etwa einige Sägespäne hineingestreut hat, die erwärmten Wassertheilchen als die leichteren in die Höhe steigen, während die kälteren an der Seite hinabsinken. Sehr bald bemerkt man, daß kleine Bläschen sich am Rande und Boden ansetzen, die dann in die Höhe steigen. Es ist dies atmosphärische Luft, welche vom Wasser absorbirt war (§ 32.); sie erlangt durch die Wärme eine hinreichende Expansivkraft, um entweichen zu können. Bei fortgesetzter Erwärmung setzen sich nach einiger Zeit, während welcher auch das Wasser, durch die Wärme ausgedehnt, in dem Gefäße allmählich höher steigt, größere Blasen auf dem Boden an, die sich dann von demselben ablösen, aber gewöhnlich nicht die Oberfläche erreichen. Hat das Wasser bereits eine Hitze von etwa 60° erreicht, so findet jene Erscheinung mit großer Lebhaftigkeit Statt, ganze Reihen von Bläschen ziehen in die Höhe, es entsteht ein zischendes Geräusch, welches man das Singen zu nennen pflegt. Durch die Erwärmung des Bodens verwandeln sich nemlich Wassertheile an demselben in Wasserdampf, diese Blasen erhalten durch die Wärme eine hinreichende Expansivkraft, um dem Drucke des Wassers widerstehen zu können, sie steigen wegen ihrer Leichtigkeit in die Höhe, erleiden aber in den kälteren Theilen einen Verlust an Wärme und dadurch auch an Expansivkraft, so daß sie wieder zu Wasser werden, und dieses Zusammensinken veranlaßt das Geräusch. — Endlich hat aber die ganze Wassermasse eine Temperatur von 80° erreicht; es bilden sich überall größere und kleinere Blasen, die nach der Höhe steigend das Wasser in die wallende Bewegung versetzen, welche das Zeichen des Kochens ist. Der sich bildende Wasserdampf hat nemlich jetzt an allen Stellen eine hinreichende Expansivkraft, um dem Drucke des Wassers widerstehen zu können. Dieses Wallen dauert nun bei fortgesetzter Erwärmung unter unveränderter Temperatur so lange, als noch Flüssigkeit vorhanden ist. Das in Wasserdampf übergehende Wasser entzieht aber hierbei den anliegenden Wassertheilchen so viel Wärme, daß deren Verwandlung dadurch noch eine Weile aufgehalten wird, und so geschieht es, daß der Uebergang der ganzen Wassermasse in Dampf nicht, wie die Explosion des Schießpulvers,

in dem Augenblicke*) vor sich geht, in welchem das Wasser die erforderliche Temperatur erhalten hat, sondern eine längere Zeit anhält. Der unmittelbar über dem Gefäße befindliche Wasserdampf ist unsichtbar, weil er durchsichtig ist (§ 89.); in geringer Entfernung über demselben erscheint aber ein feiner Rauch, der unter dem Namen Brasen, Schwaden ꝛc. bekannt ist. In der kälteren Luft verdichtet sich nemlich ein Theil des Wasserdampfes sogleich wieder zu Wasser, wie man es auch an einer darüber gehaltenen Glasplatte sehen kann. Diese Theilchen sind aber so klein, wie der feinste Nebel, so daß man sie eben nur als einen zusammenhängenden Dunst wahrnimmt; durch das Vergrößerungsglas betrachtet, sehen sie aus wie kleine hohle Bläschen, die mit einer zarten Wasserhülle umgeben sind, ganz ähnlich den Seifenblasen, nur unendlich kleiner. Dieser Dunst ist also nicht mehr luftförmiges Wasser.

Aus dem Vorigen ist ersichtlich, daß der Eintritt des Kochens dann Statt findet, wenn das Wasser durch die Wärme eine solche Expansivkraft erlangt hat, daß der entstandene Dampf dem vom Wasser ausgeübten Drucke widerstehen kann. Es wirken also zwei Kräfte einander entgegen, die Expansivkraft, welche dem Wasserdampf durch die Wärme ertheilt wird, und der Druck, den das Wasser ausübt. Dieser letztere rührt in offenen Gefäßen hauptsächlich von dem Luftdrucke her, welcher durch das Wasser fortgepflanzt wird. Das Kochen kann daher auch bei niedrigerer Temperatur Statt finden, wenn der Druck, den das Wasser erfährt, geringer ist; dies geschieht auf hohen Bergen, wo daher das kochende Wasser nie die Temperatur von 80° erreichen kann; daher kann auf dem St. Bernhard, wo dasselbe nur auf 73—74° steigt, Rindfleisch in offenen Gefäßen nicht gar gekocht werden. Aus demselben Grunde kocht das Wasser unter der Luftpumpe bei niedriger Temperatur (§ 32.). Auch folgender Versuch ist sehr auffallend. Füllt man einen Kolben mit Wasser und korkt ihn, wenn dasselbe ins Kochen gerathen ist, fest zu, indem man ihn vom Feuer nimmt, so wird es noch eine Weile weiter kochen, bis die Wasserdämpfe einen hinreichenden Druck ausüben, um das Kochen zu verhindern. Dreht man nun den Kolben um und gießt (Fig. 175.) kaltes Wasser darauf, so fängt das Kochen sogleich wieder an; die Dämpfe werden nemlich durch die Kälte zu Wasser, der Druck derselben hört also auf, und das Wasser kocht bei einer weit niedrigeren Temperatur. Umgekehrt siedet das Wasser bei höherer Temperatur, wenn der Druck vermehrt wird; dies geschieht z. B. in einem geschlossenen Gefäße, indem der Druck des gebildeten Wasserdampfes das Ko-

Fig. 175.

*) Genau genommen geht freilich, und zwar aus gleichem Grunde, auch die Explosion des Schießpulvers nicht in einem Augenblicke vor sich; aber im Vergleich zum Wasser geschieht sie doch unverhältnißmäßig schnell.

chen hindert, so daß bei fortgesetzter Erwärmung das Wasser eine weit höhere Temperatur erreicht. Hierauf beruhen die jetzt vielfach benutzten Papinschen oder Dampftöpfe aus starkem Eisen mit aufgeschraubtem Deckel, in denen in weit kürzerer Zeit und daher unter großer Ersparniß an Brennmaterial die Speisen gargekocht werden; ja man vermag durch die gesteigerte Hitze in einem solchen Topfe Knochen weich zu kochen. Hierbei ist allerdings große Vorsicht nöthig, weil der Druck des Dampfes sehr bedeutend ist und das Gefäß zu sprengen sucht. Man hat daher Sicherheitsventile angebracht; hierzu dienen häufig starke, von Gewichten herabgedrückte Klappen, die von dem Dampfe, wenn er eine zu große Kraft erreichen sollte, aufgestoßen werden und demselben dann einen unschädlichen Ausweg gestatten. — Auch das Auflegen des Deckels auf Gefäße, in denen das Wasser kocht, bewirkt eine kleine Temperaturerhöhung. Man ersieht übrigens, daß das Wasser, da der Luftdruck an den einzelnen Tagen verschieden ist, nicht immer genau bei 80° kochen wird; doch ist dieser Unterschied sehr unbedeutend.

Gesch. Bem. Den Einfluß des Luftdruckes auf das Kochen des Wassers hatte bereits Robert Boyle (G. B. zu § 34.) mittelst der Luftpumpe gezeigt. Die Entdeckung des Papinschen Topfes ist von Denis Papin 1681 gemacht worden. Denis Papin war 1650 zu Blois geboren, mußte aber als Protestant nach Holland flüchten, wurde 1688 Professor in Marburg und starb 1710; vgl. G. B. zu § 104.

§ 102. Das Verdunsten des Wassers.

Es giebt aber noch eine andere Art, wie das Wasser in den luftförmigen Zustand übergeht. Stellt man ein Glas Wasser einige Tage lang ruhig hin, am besten an ein offenes Fenster, und bezeichnet sich den Stand desselben am ersten Tage, so wird man sehr bald finden, daß die Menge des Wassers abgenommen hat. Das Wasser verwandelt sich in Wasserdampf und diese Verwandlung nennt man Verdunstung. Zwischen dem Kochen und Verdunsten finden nun folgende zwei wesentliche Unterschiede Statt: 1) das Kochen findet in der ganzen Wassermasse Statt, das Verdunsten nur an der Oberfläche, 2) das Kochen tritt nur bei einer bestimmten Temperatur ein, das Verdunsten dagegen bei jeder Temperatur. Aus dem ersten Umstande ergiebt sich der Grund des äußerlich sichtbaren Unterschiedes der Dampfbildung, der wallenden Bewegung beim Kochen, während bei der Verdunstung der an der Oberfläche entwickelte Dampf unsichtbar sein muß. Die Verdunstung findet übrigens nicht nur, wie das Kochen, bei allen flüssigen Körpern Statt, sondern auch sogar bei festen. Sehr deutlich sieht man es im Winter, wenn der Schnee längere Zeit liegt, indem er, wie man zu sagen pflegt, sich von selbst aufzehrt. —

Zunächst muß es sehr auffallend erscheinen, daß, während beim Kochen der Dampf einer so bedeutenden Expansivkraft bedurfte, um dem durch das Wasser fortgepflanzten Luftdrucke zu widerstehen, die Verdunstung bei jeder Temperatur vor sich geht. Zu diesem Zwecke muß man sich daran erinnern, daß nach § 34. luftförmiger

Wasserdampf sich in der Atmosphäre verbreitet, als wenn er allein da wäre, indem der Luftdruck nur auf feste und flüssige Körper ausgeübt wird; daher erfährt der im Innern sich bildende Wasserdampf den Luftdruck nur, weil das Wasser denselben erleidet und nun seinerseits auf den Dampf überträgt; der an der Oberfläche sich bildende Dampf erfährt dagegen nur einen Druck von dem etwa in der Luft bereits enthaltenen Wasserdampfe, dessen Druck im allgemeinen sehr unbedeutend ist. So sieht man auch beim Kochen den Brasen von der Oberfläche des Wassers lange vorher aufsteigen, ehe das Wasser in das eigentliche Kochen geräth.

Auch bei der Verdunstung entsteht Kälte, die Verdunstungskälte. Am deutlichsten bemerkt man dieselbe, wenn man die Kugel eines Thermometers mit etwas Watte umwickelt, und diese mit Schwefeläther befeuchtet; schwenkt man dann, um die Verdunstung zu befördern, das Thermometer hin und her, so sinkt das Quecksilber bis unter den Gefrierpunkt. Ferner bemerkt man diese Kälte, wenn man nach dem Bade aus dem Wasser steigt; aus gleichem Grunde bleibt das Wasser kühl, wenn man nasse Tücher um eine Flasche schlägt. In Spanien wird das Wasser in porösen Krügen, die man Alkarazzas nennt, durch die Verdunstung auf der äußeren Oberfläche kühl erhalten. Darauf beruht ferner die Schädlichkeit nasser Kleidungsstücke und des Trinkens nach starker Erhitzung; ebenso wird es nur durch die bei der Verdunstung des Schweißes entstehende Kälte möglich, daß der menschliche Körper auch bei sehr hohen Temperaturgraden existiren kann. Hierher gehört auch der oben (§ 32.) angegebene Versuch unter der Luftpumpe. — Von der größten Wichtigkeit ist nun diese Verdunstung in der freien Natur, indem nicht blos das Wasser in Meeren und Flüssen, sondern auch die gesammte Thier- und Pflanzenwelt der Luft fortwährend Wasserdampf zuführen, der zuerst durchsichtig ist, dann als Nebel und Wolke sichtbar wird, und endlich als Regen, Schnee ꝛc. wieder zur Erde gelangt. Für die Verdunstung gelten nun folgende wichtige Gesetze: 1) ein bestimmter Raum kann bei einer bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Menge Wasserdampf enthalten; 2) diese Menge ist um so größer, je höher die Temperatur ist; sie ist dieselbe, mag der Raum luftleer oder mit anderen Luftarten erfüllt sein. Daraus folgt: die Verdunstung wird um so lebhafter vor sich gehen, 1) je mehr die Temperatur steigt, 2) je geringer die Menge des Wasserdampfes ist, der sich bereits in der Luft befindet. Auf dem letzteren Grunde beruht das schnelle Trocknen durch den Wind; über der feuchten Straße oder der Wäsche würde nemlich die Luft sehr bald so viel Feuchtigkeit enthalten, daß eine schnelle Verdunstung gehindert würde. Wird aber durch einen lebhaften Zug die feuchte Luft immer durch andere ersetzt, die weniger Feuchtigkeit enthält, so kann die Verdunstung und damit auch das Trocknen schnell vor sich gehen. Da übrigens die Verdunstung nur an der Oberfläche Statt findet, so ist klar, daß dieselbe um so stärker ist, je größer die Oberfläche ist, darum breitet man die nasse Wäsche aus, darum kühlt

man auch Speisen ab, theils indem man sie in eine breite Fläche ausgießt, theils indem man durch Blasen einen Luftzug hervorbringt, dadurch Verdunstung, und durch diese wieder Abkühlung bewirkt. — Ist die oben bezeichnete Menge Wasserdampfes in der Luft vorhanden, so kann keine Verdunstung mehr Statt finden, und man sagt, die Luft ist mit Wasserdampf gesättigt. In solchen Fällen kann auch der menschliche Körper nicht gehörig ausdünsten, und man empfindet dadurch ein drückendes Gefühl, welches wir als Schwüle zu bezeichnen pflegen und der „drückenden Luft" zuschreiben. Dies ist also dann ein Zeichen der mit Wasserdampf reichlich gesättigten Luft (§ 61.). Unter diesen Umständen muß derselbe wieder zu Wasser werden, oder es muß, wie man sagt, ein Niederschlag erfolgen, 1) wenn die Temperatur sich erniedrigt, oder 2) wenn der Feuchtigkeitsgehalt der Luft zunimmt. Der letztere Fall tritt z. B. bisweilen im Winter in geschlossenen Wagen ein, in denen durch die Ausdünstung vieler Personen im engen Raum die Feuchtigkeit immer mehr zunimmt, und zunächst die Fenster, dann wohl auch die Decken und Wände beschlagen, indem der Dampf wieder zu Wasser wird. Aehnliches zeigt sich oft in Zimmern, die mit vielen Personen angefüllt sind; die Fenster beschlagen, ohne daß eine Temperaturerniedrigung von außen Statt zu finden braucht. Doch gehört diese Erscheinung in den meisten Fällen mehr zu den folgenden. Die Temperaturerniedrigung, welche einen Niederschlag verursacht, findet nemlich oft nur an der Oberfläche gewisser Körper Statt. Dies ist dann eben der Grund des Beschlagens und Gefrierens der Fenster, wenn die äußere Temperatur, welche die Fenster annehmen, so niedrig ist, daß die anstoßenden Luftschichten ihre Feuchtigkeit nicht mehr als Dampf behalten können, sondern sich dieselbe als Wasser oder Eis ansetzen muß; es versteht sich von selbst, daß dies nicht geschehen kann, wenn die Stube überhaupt keine Feuchtigkeit enthält, und daher pflegen Fenster unbewohnter Zimmer nicht zu gefrieren. Ebenso beschlagen bekanntlich die Brillen, wenn man aus der Kälte in ein warmes Zimmer kommt, dessen Dampfgehalt viel größer ist, als bei der Kälte der Brille bestehen kann; im Frühjahr schlagen bisweilen starke Mauern aus, oder richtiger, sie überziehen sich mit einer Eisschicht, weil sie zu kalt sind, als daß die feuchte Frühlingsluft in ihrer Nähe die Feuchtigkeit behalten könnte. Auf gleiche Weise bedecken sich bisweilen nach kalten Tagen die Steine der Straße, wenn über sie ein feuchter Wind weht, der einen Theil seiner Feuchtigkeit dort absetzen muß, mit Wasser (man sagt, sie schwitzen), oder mit Glatteis, indem jenes sogleich gefriert.

Die wichtigste und interessanteste Erscheinung aber, die auf einer solchen theilweisen Temperaturerniedrigung beruht, ist der Thau und Reif. Derselbe findet nemlich Statt, wenn die Oberfläche der Erde in der Nacht durch Ausstrahlung erkaltet, und die darüber befindliche Luftschicht so abkühlt, daß der darin enthaltene Wasserdampf nicht mehr bestehen kann und sich daher in kleinen Wassertropfen auf die erkalteten Körper ansetzt; ist die Temperatur derselben unter 0°, so gefrieren die Tröpf-

chen und bilden den Reif. Aus dem Vorigen erklärt sich nun leicht, 1) daß Thau dann eintritt, wenn die Ausstrahlung lebhaft ist, also in sehr klaren Nächten, ferner an solchen Gegenständen, die viel Wärme ausstrahlen, besonders an rauhen Körpern (§ 97.), Gräsern, Holz u. a., viel weniger an Metallen, so daß also eine hölzerne Thür sich in einer Herbstnacht mit Reif überzieht, aber nicht das eiserne Schloß derselben; ferner an Gegenständen, die nicht durch andere geschützt werden; so bethaut das Gras unter einem Baume oder unter einer Bank nicht, weil die ausgestrahlte Wärme von diesen Gegenständen wieder zurückgestrahlt wird, so daß das Gras selbst nicht sehr erkaltet. 2) Der Thau tritt nur dann ein, wenn durch die Erkaltung des Erdbodens auch die darüber liegenden Luftschichten hinreichend erkaltet werden; da nun durch lebhaften Luftzug die einzelnen Luftschichten fortwährend ihre Stellen wechseln, so kann auch keine so stark erkalten, daß sie ihren Wasserdampf verlieren müßte, daher thaut es nur in windstillen Nächten.

Anm. Die Temperatur, bei welcher der gerade in der Atmosphäre enthaltene Wasserdampf zu Wasser werden muß, heißt der Thaupunkt. Derselbe wird in den veröffentlichten Witterungsbeobachtungen als Stand des Feuchtigkeitsthermometers angegeben. Je weiter er nun von der Temperatur der Luft entfernt ist, desto mehr Feuchtigkeit kann die Luft noch aufnehmen. Man benutzt hierbei Instrumente, die den gemeinschaftlichen Namen Hygrometer führen.

Gesch. Bem. Die Erklärung des Thaus ist, auf zahlreiche Versuche gestützt, 1814 von einem Engländer Wells gegeben worden, und hat auch auf andere damit zusammenhängende Erscheinungen ein neues Licht geworfen. So stellt man in Benares in Ostindien über Nacht auf freiem Felde über einer starken Strohlage, welche als schlechter Wärmeleiter dient, an 100000 flache irdene, unglasirte Gefäße auf, gießt Abends Wasser in dieselben und kann am andern Morgen um 5 Uhr aus ihnen eine bisweilen zolldicke Eisschicht herausnehmen, welche in Folge der durch die Ausstrahlung hervorgebrachte Kälte entstanden ist.

§ 103. Die Niederschläge in der Atmosphäre.

Die Erniedrigung der Temperatur feuchter Luft findet viel häufiger über einen größeren Raum in der Atmosphäre Statt, und dann bilden sich Nebel, Wolken, Regen u. s. w. Der Grund hiervon liegt entweder darin, daß warme Luft, die eine bedeutende Menge Feuchtigkeit enthält, in eine kältere Luftschicht gelangt, oder daß kalte Luft in eine wärmere, mit Feuchtigkeit gesättigte eindringt. In beiden Fällen bilden sich zunächst kleine Dunstbläschen (§ 101.), welche an dem Erdboden den Nebel bilden. Derselbe entsteht daher z. B. über größeren Wassermassen oder feuchten Orten, Wiesen u. a., von denen Wasserdampf aufsteigt, der in der kälteren Luft sogleich zu Wasser wird. Auf dieselbe Weise entsteht der Hauch des Mundes, indem der aus dem warmen Innern ausgeathmete Wasserdampf in der kalten Luft zu Dunst wird. Umgekehrt kann der kalte Luftstrom von den Ufern in die warme, feuchte Luft über dem Wasser eindringen und den Nebel er-

zeugen; so raucht ein Fluß bei eintretender Kälte, ehe er zufriert. Ebenso bilden sich größere Nebel, wie sie auch in Städten herrschen, durch Vermischung verschiedener Luftströmungen. Eine Wolke ist nun nichts anderes, als ein Nebel in der Höhe. Auch sie besteht aus kleinen Dunstbläschen; das, was von unten gesehen als Wolke erschien, ist, wenn man die Berge besteigt, dasselbe, was man in der Ebene Nebel nennt. Die Höhe der Wolken ist sehr verschieden; am tiefsten gehen die dunklen Regenwolken, die sich namentlich im Winter häufig bis auf die Erde senken, wo wir sie eben Nebel nennen und, nicht wissend, ob es eigentlich regne oder nicht, uns vergebens durch einen Regenschirm zu schützen suchen. Am höchsten steigen die sogenannten Schäfchen, welche man auch bei der größten Höhe, die man auf Bergen oder in Luftballons erreichte, noch weit über sich stehen gefunden hat. Das Schweben der Dunstbläschen erklärt sich leicht aus ihrer Kleinheit, wie ja auch andere Körper, Staub, Kohlenstückchen im Rauch u. s. w. sich in der Luft eine Zeit lang schwebend erhalten; ferner werden sie häufig von der in die Höhe steigenden warmen Luft emporgehoben. Daneben müssen wir uns aber überhaupt diese Bläschen keineswegs als unveränderlich denken; sie senken sich wohl oft in tiefere Schichten, die noch nicht mit Feuchtigkeit gesättigt sind, und werden hier wieder zu Wasserdampf, während in den oberen neu zugeführter Dampf zu Bläschen wird. Eine solche unaufhörliche Veränderung in den Wolken, besonders wenn noch Wind dazu kommt, bemerkt man leicht, wenn man dieselben nur wenige Minuten beobachtet. Sehr häufig ist die Wolkenbildung an Bergen, und dort scheint auch oft eine Wolke lange Zeit unverändert festzustehen; so haben der Reifträger in Schlesien, der Pilatus in der Schweiz (mons pileatus, Berg mit dem Hute) ihre Namen erhalten. Die mit Dämpfen erfüllte Luft wird nemlich genöthigt, an den Bergen in die Höhe zu steigen, und kommt dadurch in Gegenden, in denen der Dampf zu Dunst wird. Die Unveränderlichkeit einer solchen Wolke ist aber ebenfalls nur scheinbar und gleicht einer Schaumstelle im Bache, die an demselben Orte bleibt, obgleich der Schaum immer von anderen Wassertheilchen gebildet wird, die von dem Steine gehemmt nach einiger Zeit weiter strömen. — Vermehrt sich nun die Menge der Dunstbläschen, so fließen sie zu Tropfen zusammen und bilden dann den Regen. Daß überhaupt die Verwandlung des Dampfes in Wasser nicht mit einem Male geschieht, erklärt sich, wie früher das allmähliche Gefrieren (§ 100.) leicht daraus, daß bei der Verwandlung einzelner Theile Wärme frei wird, die den umgebenden Theilen gestattet, noch längere Zeit Dampfform zu behalten. Nur wenn bei völlig ruhiger Luft ein ungewöhnlich großer Feuchtigkeitsgehalt vorhanden, kann sich schnell eine größere Wassermasse bilden, wie in ähnlichem Falle auch das Gefrieren plötzlich vor sich geht.

Die Tropfen vergrößern sich, indem sie die feuchten Luftschichten durchfallen, und so kommt es, daß im Winter, wo die Wolke oft sehr tief liegt, die Tropfen klein zu sein pflegen, im Sommer, namentlich bei Gewittern, sehr groß sind, und unter den Tropen, wo sie von bedeutender Höhe herabfallen, in kurzer Zeit eine ungewöhnliche Was-

sermenge geben. — Ist die Temperatur unter 0°, so entstehen feine Eisnadeln, die eben so wie die Dunstbläschen in der Luft schweben und namentlich die hellschimmernden Lämmerwolken in den hohen Luftschichten zu bilden scheinen. Bei weiterem Verlaufe setzen sie sich dann zu den verschieden gestalteten, aber stets regelmäßigen Schneeflocken zusammen und kommen als solche auf die Erde. Ebenso sind die Graupel- und Hagelkörner gefrornes Wasser; jene, weiß und undurchsichtig, etwa von der Größe der Erbsen, ähnlich einem kleinen Schneeballe, der aus einzelnen Schneeflocken zusammengebacken ist, fallen bei uns im Herbste und im Frühjahr; die Hagelkörner erreichen eine viel bedeutendere Größe und bestehen aus einem undurchsichtigen Graupelkern, um den sich eine durchsichtige Eisrinde bildet, die gewöhnlich nicht kugelrund ist. Dieser Ueberzug scheint nun durch eine plötzliche Eisbildung entstanden. Auch die Dunstbläschen können nemlich nach einigen Beobachtungen, wie das Wasser, um mehrere Grad unter den Nullpunkt erkalten; fallen nun Graupelkörner durch eine solche Nebelschicht, so ist klar, daß die Bläschen sehr plötzlich gefrieren und die Graupelkörner umkleiden werden. Uebrigens pflegt es bei uns nur im Sommer, und fast nur bei Tage zu hageln, höchst selten in der Nacht; überhaupt vorzüglich in den mittleren Breiten, selten unter den Tropen und in den höheren Breiten, während Graupelschauer sich überall finden. Beide Erscheinungen sind immer mit einer starken Entwickelung von Elektricität verbunden.

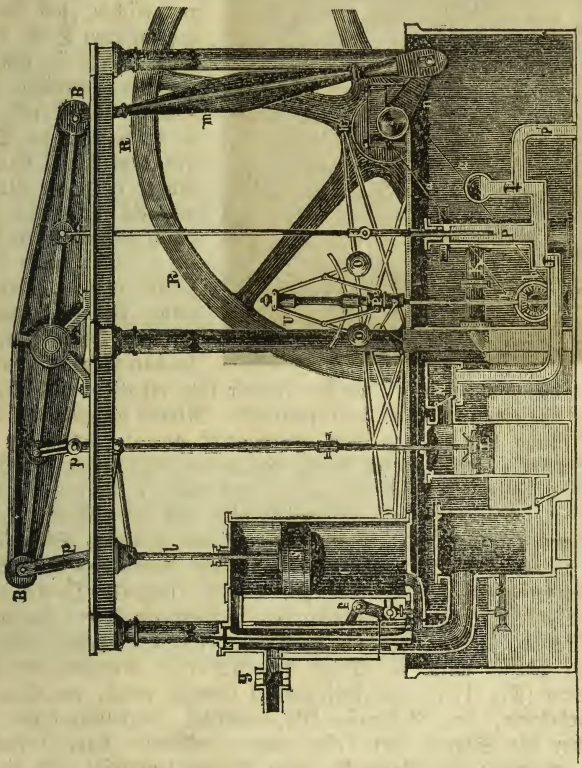
Gesch. Bem. Die Vorstellungen über den luftförmigen Wasserdampf und den bereits wieder zu flüssigem Wasser gewordenen Dunst, sind noch im vorigen Jahrhunderte eine vielfach behandelte Streitfrage gewesen. Namentlich glaubte man, daß der Dampf in der Luft aufgelöst sei, wie Salz in Wasser, bis der schwedische Physiker Wallerius 1746 zeigte, daß auch im luftleeren Raume sich Wasserdämpfe bilden. Ausführliche und gründliche Untersuchungen und Beobachtungen über diesen Punkt und die damit zusammenhängenden Witterungserscheinungen sind namentlich von zwei Genfer Physikern Saussure und De Luc angestellt worden. Jener (Horaz Benedict), geb. 1740, seit seinem 22sten Jahre Professor in Genf, ist besonders durch seine vielen Reisen berühmt, die er alle in naturwissenschaftlichem Interesse unternahm und auf denen er, ohne die empfindlichsten Beschwerden und Entbehrungen zu scheuen, die sorgfältigsten Beobachtungen anstellte, die er höchst umsichtig zu benutzen verstand und einem ausführlichen Werke über Meteorologie (Hygrometrie) zu Grunde legte. So bestieg er zuerst den Montblanc 1787 und den Mont Rosa 1789. Im Jahre 1779 hatte er bereits 14 Mal die Alpen bestiegen und sich zum Theil Monate lang auf denselben aufgehalten. Er starb 1799. De Luc (geb. 1727 zu Genf, gest. 1817 zu Windsor) wendete sich erst später den Naturwissenschaften zu, in welchen er durch seinen Scharfsinn, der ihn jedoch nicht selten zu falschen Schlüssen verleitete, großes Ansehn erlangte.

§ 104. Die Wirkung des Wasserdampfes.

Oben (§ 101.) ist bereits erwähnt worden, daß der beim Kochen des Wassers gebildete Dampf, wenn seiner Ausbreitung ein Hinderniß entgegensteht, einen außerordentlichen Druck ausübt; derselbe

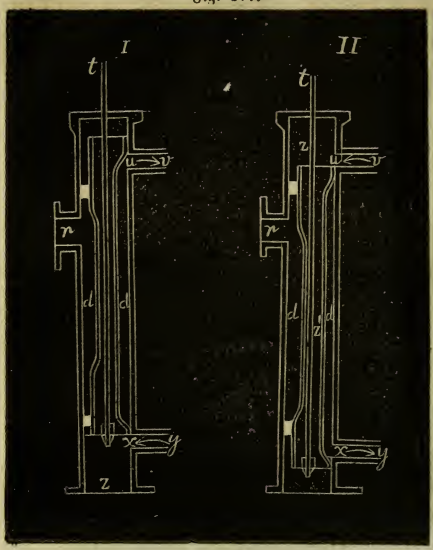
wird um so größer, je mehr die Hitze verstärkt wird. Es ist bekannt, daß diese große Expansivkraft des Wasserdampfes eine außerordentlich wichtige Anwendung in den Dampfmaschinen erfahren hat. Es ist dieselbe, die zugleich Dampfschiffe und Lokomotiven in Bewegung setzt. Zuerst soll nun von einer gewöhnlichen Dampfmaschine (Fig. 176.) die Rede sein. Ihre Haupttheile sind: 1) der Kessel

Fig. 176.



(nicht gezeichnet), in welchem durch Erhitzen des Wassers der Dampf erzeugt wird, 2) der Cylinder C, in den der Dampf geleitet wird, um einen Stempel S, je nachdem jener unter oder über dem letzteren in den Cylinder eintritt, auf und ab zu bewegen, 3) der Condensator D mit kaltem Wasser, in den der Dampf geführt wird, um daselbst wieder zu Wasser zu werden. Die wichtigste Nebenvorrichtung ist das Schieberventil kk, eine hohle, cylinderförmige Röhre, welche durch einen in ihrer Mitte befindlichen Stab t

Fig. 177.



(Fig. 177.) auf und ab bewegt wird. Durch das Hin- und Herschieben dieses Ventils wird nun bewirkt, daß, während der Dampf aus dem Kessel abwechselnd über und unter den Stempel gelangt, zu gleicher Zeit der auf der anderen Seite befindliche Dampf in den Condensator entweicht. Steht nemlich das Ventil, wie in I., so tritt der Dampf aus dem Kessel durch die Röhre r in die Vorkammer dd und aus dieser durch uv über den Stempel, und drückt diesen herab; zugleich gelangt der unter dem Stempel befindliche Dampf durch yx in den Raum z und von dort in den Condensator, welcher immer kühl erhalten wird, um den Dampf sogleich in Wasser zu verwandeln. Nimmt dagegen das Ventil die Stellung II. ein, so tritt der Dampf aus dd durch xy unter den Stempel, treibt diesen in die Höhe und läßt daher den Dampf über dem Stempel durch vu nach z und durch z' in den Condensator gehen. Der Condensator bewirkt also, daß der Stempel bei seiner Bewegung den Widerstand des auf der anderen Seite befindlichen Dampfes nicht zu überwinden braucht; durch das kalte Wasser des Condensators nemlich fällt der zunächst liegende Dampf zu wenigen Wassertröpfchen zusammen; es entsteht ein leerer Raum über dem Wasser, in den der übrige Dampf schnell eindringt und ebenfalls zu Wasser wird. — Durch das Auf- und Abgehen des Stempels wird (Fig. 176.) eine Leitstange l bewegt, welche an einem großen Hebelarm, dem Balancier BB, befestigt, denselben dreht. Damit aber die Stange stets eine genau senkrechte Lage beibehalten könne, während der Balancier einen Bogen beschreibt, ist die Leitstange l an dem verschiebbaren Parallelogramm pp angebracht. Durch den anderen Hebelarm des Balanciers wird eine zweite Leitstange m bewegt, welche durch eine Kurbel n die Drehung eines Schwungrades RR bewirkt. Indem nemlich dieses mit großer Kraft sich herumdreht, und vermöge des Beharrungsgesetzes eine gleichmäßige Bewegung annimmt, bewirkt es auch zugleich einen regelmäßigen Gang der ganzen Maschine. Mit der Achse dieses Schwungrades stehen nun, wie mit der Achse eines Wasserrades, diejenigen Theile in Verbindung, die nach der Verschiedenheit der Wirkungen, die hervorgebracht werden sollen, durch dasselbe bewegt werden. Der Balancier

setzt noch andre minder wichtige Theile der Maschine in Bewegung, die hier übergangen sind und in der Anmerkung kurz erwähnt werden sollen. Nur das muß bemerkt werden, daß alle erforderlichen Bewegungen durch die Maschine selbst hervorgebracht werden und daß namentlich auch das Schieberventil jedesmal durch die Bewegung des Balanciers die erforderliche Stellung erhält.

Anm. Außer den oben erwähnten Haupttheilen einer Dampfmaschine sind noch folgende zu bemerken: 1) Das bereits angeführte Parallelogramm (Fig. 178.) ist in vier Charnieren a, b, c, d beweglich. In d und in der Mitte von bc, in e, sind die Kolbenstangen des Dampfcylinders und der Luftpumpe L befestigt. Den Punkt c führt die in f befestigte Stange fc. Es ist aus der Figur ersichtlich, daß die Punkte d und e sowohl in ihrer mittelsten Stellung (d', e'), wo d'c' und fc' horizontal und hinter einander liegen müssen, als auch in ihren äußersten Stellungen (d, d'' und e, e'') in derselben lothrechten Linie liegen, von der sie daher auch während des übrigen Theiles ihrer Bahn nur unbedeutend abweichen. Statt dieses Parallelogrammes trifft man jetzt vielfach andere Einrichtungen. — 2) Die excentrische Scheibe e (Fig. 179.), welche durch das Schwungrad gedreht wird, bewegt die Leit-

Fig. 178.

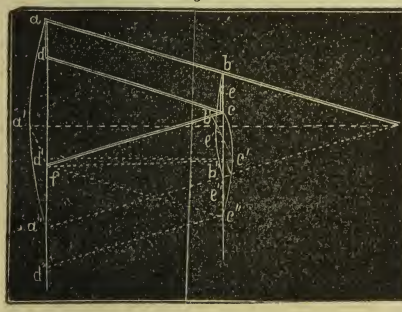
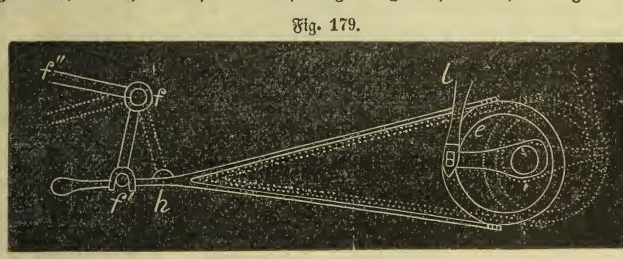


Fig. 179.

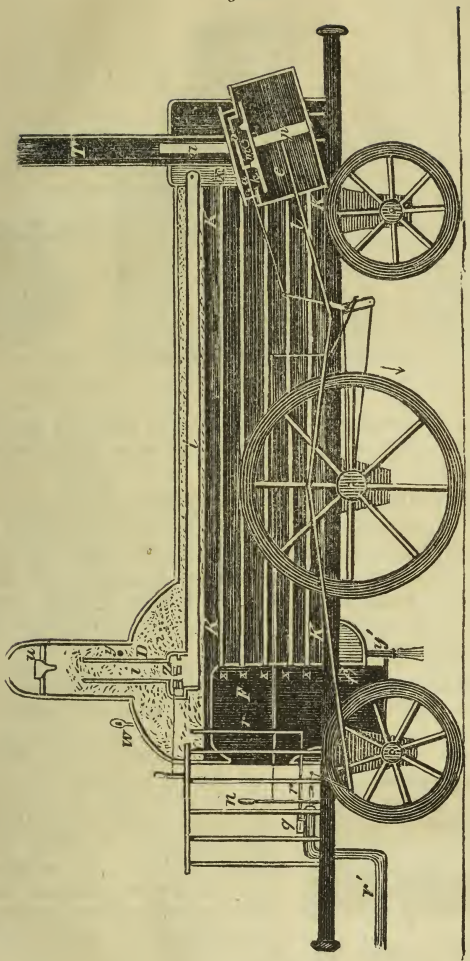


stange h hin und her. Die massive Scheibe dreht sich nemlich mit der Achse herum und dreht sich zugleich in einem umgelegten eisernen Ringe, welcher auf diese Weise hin und her geschoben wird; dadurch wird der Winkelhebel f'ff'' um seine feste Achse in f hin und her gedreht und dadurch der Stab t des Schieberventils kk (Fig. 176. und 177.) auf eine leicht erdenkliche Weise auf und ab bewegt, und zwar so, daß das Ventil gerade beide Oeffnungen bedeckt, wenn der Stempel seine äußerste Stellung erreicht, dagegen sich gerade in einer seiner äußersten Lagen befindet, wenn der Stempel in der Mitte des Cylinders steht. Die Stellung Fig. 179. entspricht der Stellung I. in Fig. 177., die punktirte dagegen der II. Die Kurbel steht in beiden Fällen wagerecht, folglich auch der Balancier, und der Stempel muß sich in der Mitte des Cylinders befinden. — 3) Der Regulator U. Um die Achse des Schwungrades geht eine endlose Schnur a, welche mittelst zweier konischen Räder b, b die Achse c herumdreht; je schneller diese Umdrehung erfolgt, desto mehr suchen sich die Kugeln o, o in Folge der Schwungkraft

zu entfernen, und heben dadurch die bewegliche Hülse q. Diese steht aber durch mehrfache Winkelhebel in Verbindung mit dem Ventil g, so daß, wenn die Umdrehung sehr schnell geschieht, das zufallende Ventil neuen Dampf am Eintreten hemmt, wenn dagegen die Bewegung langsam ist, das ganz geöffnete Ventil einer reichlichen Dampfmenge den Eintritt gestattet. 4) Die Luftpumpe L. Da nemlich das kalte Wasser im Condensator bei der Erhitzung die absorbirte Luft entweichen läßt (§ 32.), so würde dieselbe bald den Raum desselben anfüllen; sie wird daher zugleich mit dem Wasser, welches in dem Condensator verdichtet ist, aus demselben durch die Druckpumpe L in den Raum M geschafft, und das Wasser fließt hier theils anderweitig ab, theils wird es 5) durch die Speisepumpe P in die Röhre p' gebracht und von hier wieder dem Kessel zugeführt. 6) Hinter dieser Speisepumpe befindet sich noch eine andre, die Kaltwasserpumpe K, welche den den Condensator umgebenden Raum mit kaltem Wasser versorgt, wie auch durch die Röhre W fortwährend kaltes Wasser in den Condensator gespritzt wird, um den inneren Raum desselben hinreichend kalt zu erhalten.

Außer dieser Art von Dampfmaschinen giebt es noch andere, welche keinen Condensator enthalten, in denen dagegen der Wasserdampf eine größere Expansivkraft ausüben muß. Dies ergiebt sich aus folgender Betrachtung. Wird Dampf von 80° R. angewendet, so besitzt er dieselbe Kraft, als der Druck der Luft oder der Atmosphäre. Vermehrt man dagegen die Hitze, so übt der Dampf einen weit größeren Druck aus, der bei 97° 2 Mal, bei 108° 3 Mal, bei 116° 4 Mal so groß, als der Druck der Luft ist; man sagt, es sei ein Druck von 3, 4 Atmosphären. Wirkt nun auf der einen Seite ein Druck von mehreren Atmosphären, so ist auf der anderen kein Condensator nöthig, um einen leeren Raum herzustellen, und der Dampf kann statt in den Condensator unmittelbar in die Atmosphäre entweichen. Beträgt der Druck z. B. 8 Atmosphären, so wird der Kolben, da dann von der anderen Seite der Gegendruck der Atmosphäre Statt findet, immer noch mit einer Kraft von 7 Atmosphären zur Seite getrieben. Man nennt dergleichen Dampfmaschinen ohne Condensator, bei denen ein höherer Druck nöthig ist, Hochdruckmaschinen, während die mit einem Condensator versehenen Niederdruckmaschinen heißen. Beide Arten von Dampfmaschinen werden nun in Dampfbrennereien, Dampfmühlen und jetzt fast in allen größeren Werkstätten angewendet. Eine kleine Veränderung erleiden die auf Dampfschiffen benutzten Maschinen dadurch, daß der Balancier sich unten befindet, der dann entweder die Achse der Schaufelräder oder die der Schraube herumzudrehen hat. Da durch den Wegfall des Condensators zugleich mehrere andere Theile entbehrlich werden, so nimmt eine Hochdruckmaschine einen weit kleineren Raum ein, als eine Niederdruckmaschine; sie werden daher vorzugsweise angewendet, wenn man der Maschine keinen großen Raum anzuweisen vermag. Daher finden sie ihre häufigste Anwendung in den Lokomotiven (Fig. 180.). An diesen ist zu unterscheiden 1) der Feuerraum F, von welchem aus die heiße Luft und der Rauch in zahlreichen Röhren xxx . . durch den ganzen Raum der Lokomotive in den vorderen Theil geführt wird, um von hier durch den Schornstein T zu entweichen. 2) Der Dampfkessel KK, der eigentliche lange Leib der Lokomotive, mit Wasser angefüllt,

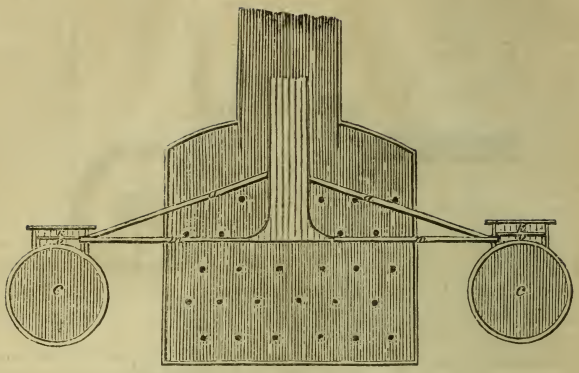
Fig. 180.



welches durch die zahlreichen Röhren erhitzt sich in Dampf verwandelt, der in dem Cylinder D in die Höhe steigt und von dort in die Röhre ii geht, welche sich vorn in zwei Theile aa (Fig. 181.)*) theilt, den Dampf in die Kasten kk und aus diesen 3) in zwei kleine Cy-

*) Diese Figur ist in der Mitte getheilt zu denken, so daß die linke Hälfte den durch die Röhre m, die rechte den durch die Röhre a gelegten Durchschnitt darstellt.

Fig. 181.



linder cc zu beiden Seiten der Lokomotive leitet, in deren jedem ein Stempel p, je nachdem der Dampf zur Rechten oder Linken desselben eintritt, nach links oder rechts bewegt wird. Dieser Stempel führt seinerseits eine Leitstange l, die das mittlere Räderpaar herumdreht. Aus den Cylindern tritt der Dampf an den anderen Seiten des Stempels in die Röhren mm, welche sich in der Mitte vereinigen und dann in den Schornstein münden. Auch hier wird das Schiebervenstil vv durch die Bewegung einer excentrischen Scheibe regulirt, und zwar so, daß auch zugleich die Bewegung der Lokomotive in die entgegengesetzte umgewandelt werden kann.

Anm. Auch hier mögen die einzelnen Nebenvorrichtungen kurz erklärt werden: 1) das Schiebkastenventil (Fig. 182.). Der Kasten v ist verschiebbar. In der gezeichneten Stellung tritt der Dampf durch die Röhre a (vergl. auch Fig. 181.) in den oberen Raum kk und von hier links in den Cylinder C, während er rechts in den Kasten vv und von hier durch die Röhre m entweicht. Ist der Kasten v am weitesten links, so tritt der Dampf rechts ein und entweicht links. Der Stempel befindet sich jederzeit in der Mitte, wenn der Kasten seine äußerste Stellung erreicht. Auch ist zu bemerken, daß die Einrichtung so getroffen ist, daß, wenn der Stempel des einen Cylinders sich an dem einen Ende befindet, der des anderen gerade in der Mitte steht. — 2) Die Verschiebung des Ventiles geschieht auch hier durch excentrische Scheiben, welche an der Achse des Mittelrades befestigt sind. Es befinden sich aber, wie Fig. 183. zeigt, auf jeder Seite zwei excentrische Scheiben s und s' immer in genau entgegengesetzter Stellung. An der einen Scheibe ist die Stange t, an der anderen t' angebracht. Beide Stangen sind an der Hängetasche hh befestigt, in der sich der Knopf des einen Hebelsarmes von g befindet, während der andre Arm desselben das Schiebkastenventil hin und her schiebt. In der gezeichneten Lage wird der Knopf durch die Stange t und die Scheibe s getrieben; der Kasten steht am weitesten rechts, der Stempel

Fig. 182.

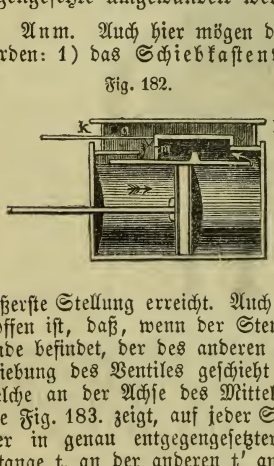
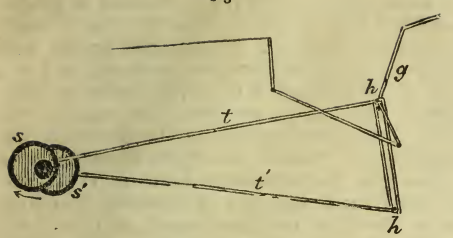


Fig. 183.



bewegt sich nach rechts, das Rad und die Scheibe s drehen sich in der Richtung der Pfeile und der Wagen geht vorwärts. Wird aber in diesem Augenblicke durch den Hebel n mittelst einer aus Fig. 180. und 183. ersichtlichen Vorrichtung die Hängetasche hh in die Höhe gezogen, so daß der Knopf an t' liegt, so wird der Kasten v plötzlich nach links geschoben, der Stempel bewegt sich nach links, das Rad dreht sich also gegen den Pfeil und der Wagen geht rückwärts. — 3) Die Speisepumpe q dient dazu, das durch die Röhre r' aus dem Tender kommende Wasser durch die Röhre r in den Dampfkessel zu leiten. f ist die Stange, welche durch das Hauptrad bewegt, die Pumpe q in Thätigkeit setzt. — Aus y strömt, wenn ein dazu gehöriger Hahn geöffnet wird, der Dampf durch die Röhre y' nach unten in die Luft; zugleich wird die Klappe Z nach rechts gestoßen und dadurch der Zutritt des Dampfes in die Röhre i verhindert; die Bewegung des Wagens wird also aufhören. W ist eine Pfeife, u ein Sicherheitsventil.

Gesch. Bem. Den Gedanken, den Druck des Wasserdampfes zum Heben eines Kolbens zu benutzen, hat wohl zuerst Salomon de Caus (1615) gefaßt; den wichtigeren dagegen, durch Verdichtung des Dampfes wieder einen leeren Raum zu erzeugen, in den der Kolben durch den Luftdruck zurückgedrängt würde, scheint Papin (G. B. zu § 101.) 1695 gehabt zu haben. Die erste wirkliche Ausführung einer Dampfmaschine geschah 1699 durch den englischen Kapitain Savary, der keine Kenntniß von Papins Versuche gehabt zu haben scheint; bald darauf wurden die Maschinen von ihm in Verbindung mit dem Mechaniker Newcomen vervollkommnet. Eine solche besserte Watt (s. u.) 1764 aus. Dadurch wurde dieser veranlaßt, auf die Verbesserung derselben zu denken, und so erfand er 1765 den Condensator, wodurch die Kosten des Brennmaterials auf den vierten Theil gebracht und der allgemeinere Gebrauch erst ermöglicht wurde. Er unterwarf die Wirkung des Dampfes sehr umfassenden und gründlichen Versuchen und stellte darüber Berechnungen an, deren Resultate er dann wieder zu einer möglichst vortheilhaften Einrichtung der Maschinen selbst zu benutzen verstand. Ebenso ließ er den Dampf abwechselnd über und unter den Stempel treten, erfand 1784 das verschiebbare Parallelogramm, wendete den Regulator an und führte manche andre Vorrichtungen ein, die hier nicht erwähnt werden können. — Der Gedanke, den Dampf zur Schifffahrt zu benutzen, ist ebenfalls zuerst von Papin und Savary ausgesprochen worden; auch ist Papin bereits 1707 auf der Fulda mit einem Dampfboot von Kassel bis Münden gefahren. Doch haben diese schwachen, vielfach verunglückten und aufgegebenen, und dann wieder von Andern aufgenommenen Versuche erst zu einer ausgedehnten Anwendung der Dampfschifffahrt geführt, seit der Nordamerikaner Fulton 1807 von New-York nach Albany die geographische Meile in einer Stunde fuhr. — Der Versuch, Hochdruckmaschinen auszuführen, ist zuerst 1802 von den Engländern Trevithick und Vivian gemacht und 1805 zur Bewegung von Kohlenwagen auf einer Eisenbahn wirklich benutzt worden. Zur Beförderung von Personen wurden sie zuerst 1826 in England angewendet. — Es scheint billig, einige Worte über das Leben des Mannes hinzuzufügen, durch dessen Bemühungen die Dampfmaschinen erst die jetzt so allgemeine

Benutzung erlangt haben. James Watt, geb. 1736 in Greenock in Schottland, der als ein sehr schwächliches Kind größere Freiheit für seine Beschäftigungen hatte, und schon als Knabe allerhand Geräthschaften zerlegte und wieder zusammensetzte, sich eine kleine Elektrisirmaschine verfertigte u. s. w., kam 1757 nach Glasgow, wo er als Mechaniker in den Gebäuden der Universität seinen Laden aufschlug. Hier kam er, wie schon oben erwähnt, bei der Ausbesserung des Modells einer Dampfmaschine für die Universität auf mehrfache Verbesserungen derselben und widmete nun diesen Maschinen seine besondre Aufmerksamkeit. Die erste Dampfmaschine baute er 1767—68. Er verband sich 1774 mit einem unternehmenden Fabrikanten Boulton (gest. 1809 im 81sten Jahre) in der Nähe von Birmingham; sein früher erhaltenes Privilegium wurde ihm bis 1800 verlängert, und von diesem Zeitpunkte an schreibt sich der mächtige Aufschwung dieser Fabrik, welche bei weitem die erste der Welt wurde, sowohl durch ihren äußeren Umfang, als auch durch die Menge neuer Entdeckungen, die aus dem erfinderischen Geiste Watts hervorgehend einen völligen Umschwung in allen Theilen der Fabrikthätigkeit bewirkt haben. Nach Ablauf des Privilegiums 1800 zog sich Watt zurück und überließ das Geschäft seinem Sohne in Verbindung des jüngeren Boulton. Seine Gesundheit erstarkte im Alter, und sein Geist behielt seine wunderbare Kraft bis an seinen Tod, der im Jahre 1819 auf einem Landgute in der Nähe von Birmingham erfolgte. — Er liebte Einfachheit der Lebensweise und Zurückgezogenheit, bewies von früh an die größte Bescheidenheit, ja eine gewisse Gleichgültigkeit gegen den Ruhm seiner eigenen Entdeckungen, und vielleicht verhinderte nur der Einfluß seiner edlen, sanften und zugleich munteren Frau, daß nicht diese Gleichgültigkeit die Welt um viele seiner Entdeckungen beraubte. Da er überall scharf beobachtete, so bot ihm das tägliche Leben fortwährend Gelegenheit, ebensowohl sich Aufgaben für die Erleichterung großer und kleiner Bedürfnisse vorzulegen, als auch die Lösung derselben durch originelle Gedanken zu finden. So stand der außerordentliche Ruhm, den Watt genoß, dennoch in keinem Verhältnisse zu den Wohlthaten, die er der Menschheit erwiesen. Mehrere Bildsäulen wurden ihm in Schottland und England errichtet, und eine gleiche ist auch in der Westminsterabtei, der Grabstätte der großen Männer, welche England so zahlreich hervorgebracht hat, aufgestellt, mit folgender Inschrift: „Nicht um einen Namen zu verewigen, der so lange dauern muß, als die Künste des Friedens blühen werden, sondern um zu zeigen, daß die Menschen gelernt haben, diejenigen zu ehren, welche ihrer Dankbarkeit am würdigsten sind, haben der König, die Minister, viele Edle und andere Bürger des Reiches dieses Denkmal James Watt zu Ehren errichtet, welcher die Kraft eines originellen Genies, frühzeitig in wissenschaftlichen Untersuchungen geübt, auf die Verbesserungen der Dampfmaschinen anwendend, die Hülfsquellen seines Landes vergrößerte, die Kraft des Menschen vermehrte, sich auf einen ausgezeichneten Platz erhob unter den berühmtesten Gelehrten und den wahren Wohlthätern der Welt. Geboren zu Greenock 1736, gestorben zu Heathfield in Staffordshire 1819."

Vierte Abtheilung. Quellen der Wärme.

Erstes Kapitel.

§ 105. Wärme durch chemische Anziehung und durch Verdichtung.

Schließlich sollen noch die wichtigsten Wärmequellen ihre Erwähnung finden. Eine derselben ist bereits früher ausführlich behandelt

worden; in den meisten Fällen einer chemischen Verbindung entsteht, wie wir (§ 35.) gesehen haben, Wärme, die sehr oft mit Lichterscheinung verbunden ist und dann Verbrennung genannt wird. So ist jedes Feuer Folge einer chemischen Verbindung. Es ist aber (§ 47.) gezeigt worden, daß schon eine bestimmte Wärme, welche in den bei weitem meisten Fällen die gewöhnliche Lufttemperatur weit übersteigt, vorhanden sein muß, damit eine solche Vereinigung eintrete. Es fragt sich also, wie diese Wärme hervorgerufen wird. Es ist aber bekannt, daß, um den Phosphor der Streichhölzchen in Brand zu setzen, d. h. seine Verbindung mit Sauerstoff einzuleiten, er selbst an der Wand durch Reibung erwärmt wird. Mit dem Reiben ist aber eine Zusammendrückung der geriebenen Theile verbunden, und in der That: das Zusammendrücken oder Verdichten bringt Wärme hervor. Dies findet aber eben seine häufigste Anwendung in der Reibung. Es ist bekannt, daß die Wilden durch Aneinanderreiben verschiedenartiger Hölzer sich Feuer verschaffen, daß die Theile einer Maschine, die Achse eines Wagens fortwährend geschmiert werden müssen, weil sonst durch die Reibung leicht Feuer entstehen würde. So reibt man sich die Hände, um sich zu erwärmen, die Hand erhält einen brennenden Schmerz, wenn man sich schnell an einem Seile herunterläßt; ein Stück Holz, schnell auf der Drehbank herumgedreht, wird durch ein anderes, welches man dagegen hält, verkohlt, wodurch die schwarzen Ringe an Kreiseln u. a. entstehen; das Tau der Harpune, welche der getroffene Wallfisch mit großer Schnelligkeit in die Tiefe mit sich nimmt, muß an der Stelle, wo es das Schiff berührt, fortwährend begossen werden, um ein Brennen zu verhüten u. A. Selbst durch Eis, welches man gegen einander reibt, ist man im Stande, eine Wärme hervorzubringen, von der dasselbe schmilzt; der harte Feuerstein reibt den daran herabgeschlagenen Stahl und erzeugt dabei solche Wärme, daß die abgeschlagenen Eisenstückchen glühen und die Ursache der Funken sind, die den Schwamm entzünden. Aber Wärme entsteht auch überhaupt bei jeder Verdichtung. Die Münzen erhitzen sich unter dem Schraubstock des Prägewerkes, ebenso der Nagel, den man stark mit dem Hammer schlägt. Hierher gehört auch zum Theil die Wärme, die durch die früher (§ 32.) erwähnte Absorption der Gase und der atmosphärischen Luft Statt findet. In Folge derselben entzündet sich frische, fein gepulverte Kohle, in große Massen zusammengedrückt, und viele andre Stoffe, z. B. Heu, festgepackter Kaffee, wenn sie feucht sind, und namentlich wenn sie mit Oel in Berührung kommen, wobei jedoch oft auch chemische Ursachen mitwirken. — Hierbei mag bemerkt werden, daß umgekehrt bei Ausdehnung eines Körpers Kälte entsteht; und dies ist zugleich ein Grund für die Abnahme der Wärme mit der Höhe in der Atmosphäre.

Zweites Kapitel.

Die Erwärmung durch die Sonne.

§ 106. Die Temperaturverhältnisse auf der Erde im allgemeinen.

Eine dritte und die für unsern Erdkörper wichtigste Wärmequelle ist die Sonne, deren erwärmender Einfluß hier ausführlich betrachtet werden soll. Ihre Strahlen, welche, wie oben erwähnt, zum größeren Theile die Luft durchdringen und nur ganz unbedeutend zur unmittelbaren Erwärmung der Atmosphäre beitragen, treffen die Erde und erwärmen dieselbe. Diese ihrerseits giebt theils ihre Wärme an die unmittelbar darüber befindlichen Luftschichten ab, theils strahlt sie Wärme in die Luft aus. Die Erwärmung der Erde durch die Sonnenstrahlen ist aber um so größer, a) je senkrechter die Strahlen auffallen, b) je länger die Einwirkung derselben dauert. Um nun die aus sehr vielen Ursachen fortwährend wechselnde Wärme für die verschiedenen Tage, Jahreszeiten, Orte vergleichen zu können, beobachtet man zunächst in gleichen Zwischenräumen binnen 24 Stunden das Thermometer, und sucht, indem man in die Summe der beobachteten Grade mit der Anzahl der Beobachtungen dividirt, das Mittel, welches man die mittlere Tagestemperatur nennt. Man hat bemerkt, daß man ein sehr genaues Resultat erhält, wenn man früh und Abends um 10 Uhr und um 4 Uhr, oder wenn man um 7 Uhr früh, Mittags 12 Uhr und Abends 10 Uhr beobachtet. Addirt man die mittlere Tagestemperatur für sämmtliche Tage eines Monates, so erhält man durch Division mit der Anzahl der Tage die mittlere Temperatur eines bestimmten Monates, und in ähnlicher Weise die eines ganzen Jahres. Da aber die einzelnen Jahre selbst verschieden sind, so werden derartige Beobachtungen immerwährend fortgesetzt. Sucht man dann das Mittel aus der mittleren Temperatur z. B. für den Januar zehn verschiedener Jahre, so erhält man eine Zahl, die der mittleren Temperatur des Januars nicht eines Jahres, sondern des Januars an diesem Orte überhaupt sich sehr nähert. Und verfährt man auf gleiche Weise mit der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes, so erhält man eine Temperatur, welche man die mittlere Temperatur eines Ortes nennt, weil sie der Durchschnitt aus den verschiedenen Jahreszeiten und aus den Beobachtungen vieler Jahre ist. Den Temperaturbestimmungen eines Ortes aber liegt die Lufttemperatur zu Grunde, welche erst durch die sich nach und nach erwärmende Erde vermittelt wird. Die Wärme ist daher nicht gerade am Mittag, oder am 21. Juni am größten; da sie aber auch wegen der beständigen Ausstrahlung nicht fortwährend zunehmen kann, so tritt die größte Tages- und Jahreswärme erst nach dem höchsten Stande der Sonne ein. Die größte Tageswärme findet daher etwa um 2 Uhr Nachmittags, die geringste kurz vor Sonnenaufgang Statt, nachdem die Erde die ganze Nacht hindurch Wärme ausgestrahlt hat, ohne einen Ersatz dafür zu erhalten. Auf gleiche Weise herrscht im allgemeinen auf der nördlichen Halbkugel die

größte Wärme in der Mitte des Juli, die größte Kälte in der Mitte des Januar, also erst einen Monat nach dem höchsten und niedrigsten Sonnenstande. Deswegen bestimmt man für unsre Erdhälfte in Bezug auf diese Witterungsverhältnisse die Jahreszeiten so, daß man zum Frühling März, April, Mai, zum Sommer Juni, Juli, August, zum Herbst September, Oktober, November und zum Winter December, Januar, Februar rechnet, so daß die wärmste und kälteste Zeit wirklich in die Mitte des Sommers und Winters fällt.

Berücksichtigt man nun die Wirkung der Sonnenstrahlen, so ergiebt sich, da jeder Ort im Laufe eines Jahres ungefähr eine gleich lange Einwirkung von Seiten der Sonnenstrahlen erfährt, es also für die mittlere Temperatur vorzugsweise auf die Richtung der Strahlen ankommt, daß die mittlere Temperatur eines Ortes desto höher ist, je näher er dem Aequator liegt, oder 1) die mittlere Temperatur nimmt ab, je mehr die geographische Breite zunimmt (vergl. die Tabelle). — Da die Richtung der Strahlen für die Orte zwischen den Wendekreisen sich während des ganzen Jahres wenig ändert und ebenso die Länge der Tage oder die Dauer der Einwirkung der Sonnenstrahlen, so wird sich auch die Temperatur im ganzen Jahre daselbst wenig ändern, am wenigsten für die Orte, die dem Aequator zunächst liegen; diese haben daher nur eine Jahreszeit. So ist die Temperatur des Winters in Surinam (s. d. Tabelle) 20°,2, des Sommers 20°,4, der Unterschied also nur $\frac{1}{5}$°*). In einiger Entfernung davon, bis etwa zu den Wendekreisen macht sich der Unterschied bereits bemerklich; da aber die Sonnenstrahlen ebenfalls noch eine längere Zeit gar nicht oder doch nur sehr wenig von der senkrechten Richtung abweichen und selbst der niedrigste Sonnenstand derselbe ist, den wir etwa am Ende des April und in der Mitte des August haben, so wird dort nur ein geringer Wechsel Statt finden; die Orte haben nur zwei Jahreszeiten, Frühling und Sommer. (Vgl. Rio Janeiro in der Tabelle. Aehnliches würde für das Cap der guten Hoffnung, Palermo, Lissabon u. a. m. gelten.) Je weiter man sich vom Aequator entfernt, desto bedeutender wird der Unterschied zwischen Sommer und Winter, weil ebensowohl die Richtung der Sonnenstrahlen, als auch die Länge der Einwirkung derselben in den einzelnen Jahreszeiten sehr verschieden ist. In der gemäßigten Zone wird aber dieser Unterschied noch durch langsame Uebergänge vermittelt, durch Frühling und Herbst, so daß wir, die Bewohner derselben, vier Jah-

*) Man muß sich jedoch hüten, zu meinen, als ändre sich an einem solchen Orte das ganze Jahr die Temperatur nur um $\frac{1}{5}$°; denn jene Zahlen geben nur die mittlere Temperatur an. Auch unter den Tropen kann die höchste Temperatur eines Tages von der niedrigsten eines anderen um 10°, ja nach der Lage des Ortes um 20° abweichen. Doch sind auch diese Differenzen einzelner Temperaturen dort weit unbedeutender, als unter höheren Breiten, da sie z. B. für Berlin an 50° betragen können. Dagegen ist unter den Tropen wegen der starken Absorption der Wärme am Tage und der ebenso starken Ausstrahlung in der Nacht der Unterschied der höchsten und niedrigsten Temperatur innerhalb 24 Stunden oft sehr erheblich.

reszeiten von ungefähr gleicher Länge unterscheiden. In höheren Breiten, in der Nähe der Polarkreise dagegen ist der Unterschied bereits so groß, daß ein allmählicher Uebergang nicht Statt findet, sondern binnen einem Monate die größte Kälte mit einer mäßigen Wärme wechselt; dergleichen Orte haben daher nur die beiden Jahreszeiten, Winter und Sommer, von denen der letztere nach den Polen zu immer kürzer und kälter wird, bis man in die Gegenden kommt, in denen ein ewiger Winter herrscht, da die Strahlen der Sonne, die auch bei ihrem höchsten Stande nur so hoch steht, als bei uns am Ende des Februar oder des Oktober, nur wenig wirken können. Aus dem Ganzen ersieht man, daß 2) die Unterschiede der Temperatur mit der Breite zunehmen. In der letzten Reihe der beigefügten Tabelle ist der Unterschied der mittleren Temperatur des Sommers und Winters angegeben, und man sieht, daß derselbe bei zunehmender Breite wächst. Es ergiebt sich aber zugleich, daß der Unterschied zwischen der Sonnenwärme in den verschiedenen Breiten viel geringer ist als der Unterschied der Temperaturen im Winter; so ist z. B. der Unterschied des Sommers in Surinam und Marseille nur 3°,3, der des Winters 14,°7; der des Sommers zwischen Berlin und Petersburg nur 1°,4, der des Winters 6°,1 u. s. w.

	Breite.	Jahrestemp.	Sommertemp.	Wintertemp.	Differenz des Sommers und Winters.
Surinam	5° 38′N.	20°,4	20°,4	20°,2	0°,2
Rio Janeiro	22° 35′S.	19°,5	20°,9	16°,2	4°,7
Albany	42° 39′N.	7°,8	16°,2	—1°,0	17°,2
Marseille	43° 18′N.	11°,3	17°,1	5°,5	11°,6
Berlin	52° 31′N.	6°,9	14°,0	—0°,6	14°,6
Kasan	55° 48′N.	1°,8	13°,6	—11°,4	25°,4
Edinburgh	55° 57′N.	6°,9	11°,5	2°,9	8°,6
Petersburg	59° 56′N.	2°,8	12°,6	— 6°,7	19°,3
Insel Melville	74° 47′N.	—15°,0	2°,2	—26°,8	29°,0

Zunächst ist blos der Einfluß der Sonnenstrahlen betrachtet worden, abgesehen von der Beschaffenheit der Erdoberfläche, die dadurch erwärmt wird. Es ist aber leicht zu sehen, daß es für die Temperatur eines Ortes von der größten Wichtigkeit ist, ob er auf einer weiten Ebene oder zwischen Gebirgen, ob er in der Nähe des Meeres, oder in einer Sandwüste liegt u. s. w. So ist es z. B. anderweitigen Ursachen zuzuschreiben, daß Europa ein viel milderes Klima hat, als die Orte Nordamerika's in gleicher Breite, wie eine Vergleichung von Albany und Marseille zeigt. Es kann hier jedoch blos der große Unterschied berücksichtigt werden, welcher Statt findet, je nachdem festes Land oder Wasser erwärmt wird. Das erstere absorbirt die Wärme viel stärker, strahlt aber auch wieder viel mehr Wärme aus, als das Meer. Indem ferner durch steigende Wärme die Verdunstung befördert wird, die eine Abkühlung zur Folge hat, bei zunehmender Kälte dagegen die kälteren Wassertheilchen als die schwereren nach der Tiefe zu gehen und wärmeren Platz machen, so wird das Wasser sich weder

so stark erwärmen, noch so stark abkühlen, als das Festland. Hierzu trägt auch die große specifische Wärme des Wassers bei. Daher nun haben Orte in der Nähe des Meeres, namentlich die ganze Westküste von Europa, ferner Großbritannien u.. a. eine viel gleichmäßigere Temperatur (Seeklima), während Orte, die in der Mitte des Festlandes liegen, wie Ungarn, Polen, das südeuropäische Rußland, sich im Sommer viel stärker erwärmen, aber auch im Winter einen viel größeren Wärmeverlust haben (Continentalklima, vergl. Edinburgh und Kasan). Diese Temperaturverhältnisse haben natürlich den größten Einfluß auf die Vegetation. Gewisse Pflanzen, die eine größere Kälte ertragen, ohne zu erfrieren, bedürfen doch eine große Sommerwärme, wenn ihre Früchte zur Reife kommen sollen; so der Wein. Für diese kommt es also weniger auf die mittlere Temperatur eines Ortes, als auf die Sommerwärme an; Wein gedeiht daher nicht in Britannien, wo das Seeklima eine größere Sommerhitze hindert. Auf diese Weise kann Getreide während des kurzen, aber hinreichend heißen Sommers in Sibirien in Jakutzk an einem Orte gebaut werden, dessen Boden in einer Tiefe von wenigen Fuß fortwährend gefroren bleibt, während in Island, welches eine weit höhere, mittlere Temperatur hat, kein Getreide zur Reife kommt. Andere Pflanzen, die schon bei mäßiger Kälte erfrieren, z. B. die Myrthe, bedürfen, um im Freien fortzukommen, ein Klima, wo ein milder Winter herrscht. Daher wächst sie in dem milden Seeklima Irlands, erfriert aber in Deutschland, wo dagegen der Wein zur Reife kommt.

§ 107. Die Temperaturänderung über und unter der Erdoberfläche.

Es ist bereits früher mehrfach erwähnt, daß die Temperatur mit der Höhe abnimmt. Der Luftfahrer Crosbie gelangte von Dublin aus zu einer Höhe, in welcher die Dinte einfror und das Quecksilber in die Kugel des Thermometers sank, und dem Grafen Zambeccari mußten bei seiner Rückkehr von einer ähnlichen Luftfahrt in Venedig drei Finger abgenommen werden, die erfroren waren. Es mögen hier die zu dieser Temperaturabnahme beitragenden Gründe, die einzeln schon früher (§§ 97. 105.) erwähnt worden sind, noch einmal zusammengestellt werden: 1) die Erde theilt der Luft Wärme mit; je weiter sich die Luftschichten daher von ihr entfernen, desto weniger werden sie von ihr erwärmt. 2) Die Erde strahlt Wärme aus, die von der Luft aufgenommen wird; die unteren dichteren Schichten absorbiren die meisten dieser Strahlen, die entfernteren erhalten daher weniger und absorbiren, weil sie dünner sind, einen kleineren Theil. 3) Indem die Luft in die Höhe steigt und sich dabei ausdehnt, kühlt sie sich ab. — Diese Abnahme ist übrigens geringer an Gebirgen, als wenn man z. B. mit einem Luftballon in freier Luft in die Höhe steigt, weil dort der strahlende Erdboden immer noch zur Erwärmung beiträgt; aus gleichem Grunde ist die Wärme über einem Plateau wesentlich größer, als auf einem einzelstehenden Berge von gleicher Höhe und in gleicher Breite. Für die senkrechte Aufsteigung fand Gay Lussac (§ 33.) auf seiner Luftfahrt eine Ab-

nahme, die kein bestimmtes Gesetz zu befolgen schien, aber im Durchschnitt etwa 1° R. auf 600—700 par. Fuß oder 1° C. auf 180—560 par. Fuß betrug. — Hierauf beruht, daß es in allen Zonen eine Höhe giebt, in welcher der Schnee das ganze Jahr liegen bleibt. Die Höhe, in welcher dies Statt findet, bestimmt die Schneegrenze. Es ist zunächst sichtbar, daß dieselbe keineswegs immer dort sein müsse, wo die mittlere Jahrestemperatur 0° ist; denn dergleichen Orte können sehr wohl einen heißen Sommer haben, in welchem der Schnee schmilzt. Es ist aber klar, daß die Schneegrenze am höchsten in der Nähe des Aequators liegt, und sich nach den Polen zu immer mehr dem Meeresspiegel nähert. Unter dem Aequator trifft sie Orte, deren mittlere Temperatur über dem Gefrierpunkte liegt, an denen die gleichmäßige, aber geringe Sommerwärme nicht genügt, die Schneemassen völlig zu schmelzen, nach den Polen zu dagegen Orte, deren mittlere Temperatur um mehrere Grade unter dem Gefrierpunkt ist, weil der kurze, aber verhältnißmäßig heiße Sommer, während dessen die Einwirkung der Sonne eine dauernde ist, den Schnee des Winters aufthaut. Ferner hängt hiermit zusammen, daß die Vegetation sich um so mehr der der höheren Breiten nähert, je höher man auf den Bergen kommt. Dies zeigt sich in der gemäßigten und noch weit mehr in der heißen Zone; so wachsen am Fuße der Cordilleren von Quito die Palmen, der Kakao und Brotbaum, die Bananen, höher hinauf der Mais, die Eichen, dann unsere Getreidearten, Gräser u. a., bis man endlich durch Flechten in die Region des ewigen Schnees gelangt.

Da die Wärme durch Leitung der unteren Erdschichten zugeführt werden muß, so ist leicht zu sehen, daß die Veränderungen der Temperatur unter der Erdoberfläche erst später eintreten und zugleich unbedeutender sein werden. Dies findet allerdings in hohem Grade Statt, und hierauf beruht zunächst die allgemein bekannte Benutzung der Keller, die im Winter wärmer, im Sommer kälter sind, als die Lufttemperatur der Erde. Während in Paris an der Erdoberfläche sich die Temperatur im Laufe eines Jahres etwa um 20° ändert, beträgt der Unterschied in einer Tiefe von 5 F. unter der Erde bereits nur 10°, in 10 F. Tiefe 6°, und in einer Tiefe von 85 F. hat sich das Thermometer seit 1783 noch nie um $\frac{3}{100}$° geändert. Am Aequator findet diese Unveränderlichkeit schon in einer Tiefe von einigen Fuß Statt. Diese beständige Temperatur ist übrigens sehr nahe so groß, als die mittlere Temperatur des Ortes, indem die Unterschiede der Jahreszeiten und einzelnen Jahre sich dort bereits ausgeglichen haben. Diese Temperatur zeigen daher auch ungefähr die Quellen, die ihr Wasser aus einiger Tiefe erhalten; dieses hat daher an den Polarkreisen eine Temperatur von 1—2°, am Aequator dagegen von 20°. — Steigt man dagegen in größere Tiefe, so bemerkt man eine allmähliche Zunahme der Wärme mit der Tiefe, die für 100 F. ungefähr 1° C. beträgt. Quellen, die eine sehr große Wärme besitzen, haben daher wahrscheinlich ihren Ursprung in einer sehr bedeutenden Tiefe. Daraus ergiebt sich, daß, worauf auch die vulkanischen Erscheinungen

hinweisen, das Innere der Erde eine geschmolzene Masse bildet, um die sich eine verhältmäßig nur sehr dünne, feste Rinde gelegt hat.

Gesch. Bem. Auf diese vergleichenden Betrachtungen der Witterungs- und Bodenverhältnisse in den verschiedenen Theilen der Erde haben zuerst die Reisen Alex. von Humboldts und seine auf denselben gesammelten zahlreichen Beobachtungen geführt. Er ist namentlich der Erste gewesen, welcher auf Landkarten diejenigen Orte, welche eine gleiche mittlere Jahrestemperatur haben, durch Linien, die man Isothermen nennt, verband und dadurch eine feste Grundlage für weitere Betrachtungen legte. Von ihm angeregt, haben sich Viele ähnlichen Untersuchungen unterzogen. Namentlich müssen für Deutschland Kämtz (geb. 1801: Treptow a. d. R., Professor, früher in Halle, jetzt in Dorpat) und Dove (geb. 1803: Liegnitz, Professor in Berlin) erwähnt werden, welche beide theils durch eigene Beobachtungen, theils durch sehr umfangreiche Vergleichung von Reisebeschreibungen, letzterer namentlich auch durch Einrichtung der jetzt über ganz Preußen verbreiteten meteorologischen Stationen und Benutzung der auf ihnen gemachten Beobachtungen den Zusammenhang und die Gründe der Witterungserscheinungen in den verschiedenen Theilen der Erde aufzusuchen bemüht sind. Hier sei es auch erlaubt, noch einige Worte über das Leben des größten Gelehrten unserer Zeit hinzuzufügen. Alexander von Humboldt, geboren am 14. September 1769 zu Berlin, verlebte seine ersten Jahre auf dem ländlichen Schlosse Tegel in der Nähe von Berlin. Seinen ersten Unterricht erhielt er mit seinem berühmten, um 2 Jahre älteren Bruder Wilhelm durch Campe, den bekannten Verfasser des Robinson, bald jedoch und nach dem frühen Tode des Vaters dauernd von Kunth, welcher abwechselnd in Berlin und Tegel die Erziehung der Brüder mit größter Sorgfalt leitete und sie bis auf die Universität begleitete. Obgleich der Anfangsunterricht ihm manche Schwierigkeit bereitet zu haben scheint und ihm auch später sein schwächlicher Körper oft hinderlich war, so gelang es ihm doch, im wesentlichen mit seinem Bruder gleichen Schritt zu halten. Die günstigen Lebensverhältnisse, in denen er aufwuchs, die vielfachen Anregungen, die ihm aus denselben auch insofern hervorgingen, als er überall sehr bald zu berühmten Persönlichkeiten in nähere Beziehung trat, konnten ihren wohlthätigen Einfluß nicht verfehlen. Aber erst auf der Universität Göttingen erhielt seine Vorliebe für Naturwissenschaften reichere Nahrung; er ging zum Bergfach über, gab aber bald jede amtliche Stellung auf, wie er sich denn auch später vielfachen Anerbietungen zu amtlicher Thätigkeit entzogen und die freie Muße gewahrt hat. Seiner von frühester Kindheit an, vielleicht durch Campe geweckten, dann durch Georg Forster genährten Lust zu überseeischen Reisen gab er endlich, nach den gründlichsten Vorbereitungen auf dieselbe, Folge und verließ am 5. Juni 1799 den Hafen von Corunna. Er landete zuerst auf den Canarischen Inseln, wo er den Pic von Teneriffa bestieg, betrat dann die neue Welt zuerst in Cumana, bereiste die Nordküste von Südamerika, das Flußgebiet des Orinokko, dann, nachdem er inzwischen in Cuba gewesen war, den Magdalenenstrom, die Anden von Quito und Peru, bestieg außer vielen anderen Vulkanen namentlich den Chimborazo bis 18,216 Fuß, eine Höhe, die bis dahin noch kein Mensch erreicht hatte, kam über die Südsee nach Mexiko, wo er unter anderen den Jorullo untersuchte, und kehrte, überall von Bonpland begleitet, im August 1804 nach Europa zurück. — Die nächsten Jahre brachte er in Paris zu, beschäftigt mit der Verarbeitung der auf diesen Reisen nach den verschiedensten Seiten hin gemachten Beobachtungen in großen Gesammt- und Specialwerken. Es war ihm aber auch späterhin noch mehrfach vergönnt, auf größeren Reisen besonders wichtige Naturerscheinungen aus eigener Beobachtung kennen zu lernen. So sind seine Reisen nach Italien zu erwähnen, wo er

einem Ausbruche des Vesuv beiwohnte, wie er diesen Berg auch später wiederholt bestiegen hat. Im Jahre 1829 machte er mit Gust. Rose und Ehrenberg auf Veranlassung des Kaisers von Rußland eine große Reise in das Innere des nördlichen Asiens. Außerdem lebte er abwechselnd in Paris und Berlin, während der letzten 30 Jahre seines Lebens ausschließlich in Berlin. Die hohe Achtung und das Vertrauen, welches er hier von Seiten seines Königs genoß, die allgemeine Verehrung, mit der sein Name in allen Erdtheilen von Jedem, der sich mit den Wissenschaften beschäftigte, genannt wurde, kamen nur dem Interesse gleich, welches er selbst jedem wissenschaftlichen Streben schenkte, und der Bereitwilligkeit, ein solches durch seinen ausgedehnten Einfluß, der den eines Fürsten übertraf, zu unterstützen. — Obgleich er wohl wußte, daß „ohne den ernsten Hang nach der Kenntniß des Einzelnen alle große und allgemeine Weltanschauung nur ein Luftgebilde sein könne", leitete ihn doch stets „das Bestreben, die Erscheinungen der Dinge in ihrem allgemeinen Zusammenhange, die Natur als ein durch innere Kräfte bewegtes und belebtes Ganze aufzufassen", „den rohen Stoff empirischer Anschauung gleichsam durch Ideen zu beherrschen". In diesem Sinne ist namentlich sein letztes großes, seit 1845 erschienenes Werk, der Kosmos, geschrieben, welches nächst den Ansichten der Natur unter seinen zahlreichen Schriften das verbreitetste sein möchte. Er starb in Berlin am 6. Mai 1859 und ist in Tegel beigesetzt.

§ 108. Die Winde.

Die für das Klima eines Ortes wichtigste Folge dieser Erwärmung durch die Sonne besteht in den Luftströmungen, die wir die Winde nennen und deren Betrachtung wir uns jetzt zuwenden. Denken wir uns nemlich zunächst den Stand der Sonne unverrückt senkrecht über dem Aequator, so wird dort durch die Wärmestrahlung des Bodens die Luft dünner, daher leichter und steigt in die Höhe; dafür tritt die kältere Luft von den Polen her unten ein; die wärmere Luft dagegen fließt in der Höhe nach den Polen zu ab; es bestehen also zwei Ströme von den Polen nach dem Aequator zu (Polarströme), und zwei Ströme von dem Aequator nach den Polen zu (Aequatorealströme). Wir betrachteten nun blos die nördliche Halbkugel, indem Alles mit alleiniger Vertauschung der Worte Nord und Süd auch für die südliche gilt. — Da die Punkte der Erde sich desto schneller nach Osten bewegen, je näher sie dem Aequator liegen, so kommt die kältere Luft von dem Pole her in Gegenden, die sich schneller nach Osten bewegen, als sie selbst, und sie erscheint daher den Bewohnern als Nordost und zwar desto östlicher, je weiter sie herkommt. Dagegen tritt die wärmere Luft, welche vom Aequator nach dem Pole zu strömt, in Gegenden, welche sich langsamer nach Osten bewegen, als sie selbst; sie erscheint daher als Südwest und desto westlicher, je weiter sie herkommt. — In einiger Entfernung, etwa 10° vom Aequator, ist der Polarstrom fast östlich geworden, und es beginnt nun von hier ein neuer Nordstrom; an dem Aequator selbst aber, wo die warme Luft in die Höhe steigt, herrscht eine völlige Windstille, die jedoch zu gewissen Zeiten durch die heftigsten Wirbelwinde und Stürme unterbrochen wird. Diese Zone heißt die der Windstillen oder Calmen, in ihr finden die täglich wiederkehrenden Gewitter mit starken Regengüssen Statt, deren Ursache alsbald angegeben werden soll. — Nord-

lich von derselben weht ununterbrochen ein regelmäßiger Nordostwind, Passat genannt, mit klarem Himmel und fortdauernd frischem, schönem Wetter. — An diese Zone schließt sich eine solche, in der der Aequatorealstrom, der in Folge der kleineren Parallelkreise in immer engere Grenzen eingeschlossen wird, bereits als Südwest herunterkommt und als warmer Regenwind die Erde berührt. Geht man noch weiter nach Norden zu, so kommt man in Gegenden, wo beide Ströme, der Polar- und Aequatorealstrom, nicht mehr über, sondern neben einander wehen, und an den einzelnen Orten bald der eine als Nordost, bald der andere als Südwest das Uebergewicht hat. — Bisher haben wir alles nur unter der ausdrücklichen Voraussetzung aufgestellt, daß die Sonne stets senkrecht über dem Aequator stehe. Da dieselbe aber im Laufe des Jahres einen verschiedenen Stand einnimmt, so muß auch die durch die Sonne hervorgebrachte Wärme, welche die erste Ursache dieser Strömungen ist, an den einzelnen Orten verschieden sein, und mit der Stellung der Sonne müssen sich auch zugleich die Zonen verrücken, und die meisten Orte werden während der verschiedenen Jahreszeiten in verschiedenen Zonen liegen. Nur die Orte, welche zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen in der Mitte einer jeden Zone liegen, werden im allgemeinen auch in den übrigen Zeiten des Jahres nicht aus derselben herausrücken. Dagegen werden Orte in einiger Entfernung vom Aequator bei hohem Sonnenstande in den Calmen, bei niederem in der Passatzone liegen, im ersteren Falle ihre Regenzeit, im letzteren stets heiteres, frisches Wetter oder auch glühende Sonnenhitze und gänzliche Trockenheit haben, oder, wie die Indianer am Orinokko sagen, es wechselt die Zeit der Wolken und die Zeit der Sonne. Weiter liegende Orte bleiben fortwährend in der Passatzone, noch entferntere Gegenden, zum Theil schon jenseit der Wendekreise, liegen in einer Zone, die man die subtropische nennt; sie befinden sich bei hohem Sonnenstande in der Passatzone, rücken dagegen bei niederem in diejenige, wo bereits der warme, Regen bringende Aequatorealstrom herabkommt. An diese schließt sich endlich die Zone der veränderlichen Winde. Zu ihnen gehören auch unsere Gegenden. Hier wehen abwechselnd nordöstliche und südwestliche Winde. Hat der Polarstrom eine Zeit geweht, so geht er, weil er immer weiter hergekommen ist, allmählich in einen Ostwind über, und tritt jetzt endlich der Aequatorealstrom ein, so geht der Wind von Osten durch Südost nach Süden. Nach einiger Zeit, wenn sich die Luftströmung in Südwest und West verwandelt hat, wird der Polarstrom die Oberhand gewinnen, und der Wind von Westen durch Nordwest nach Norden übergehen. Daher dreht sich bei uns der Wind häufiger von Osten durch Süden nach Westen, und von Westen durch Norden nach Osten, als umgekehrt.

Anm. Das Wehen des Aequatorealstromes in höheren Luftschichten hat man am Pic von Teneriffa beobachtet, auf dessen Gipfel der Südwestwind weht, während am Boden Nordostwind ist, und zwar kommt der Südwestwind vom Oktober an immer tiefer und erreicht zuletzt die Meeresfläche. Ebenso wurde Asche aus einem Vulkan auf St. Vincent nach Barbados, welches zwei der kleinen Antillen sind, und ein andermal aus einem Vulkan in

Guatemala nach Jamaika durch den oberen Südwestwind geführt, während in beiden Fällen an der Meeresfläche der Nordostpassat wehte. Auf den obigen Gesetzen, die vorzugsweise für das Innere der großen Meere gelten, beruhen auch folgende Fahrten der Schiffer. Um von Europa nach Amerika zu gelangen, fahren sie südlich bis in die Nähe des Wendekreises und lassen sich dann durch den Ostpassat nach Amerika treiben. Die Rückreise geschieht, indem man von den Antillen nördlich bis in die subtropische Zone fährt und sich dann von dem Südwestwind nach Europa führen läßt. Beide Wege hat bereits Columbus eingeschlagen. Ebendarum dauert die Fahrt von England nach Nordamerika bedeutend länger, als die Rückfahrt, weil man in diesem Falle sogleich den Westwind der subtropischen Zone benutzen kann. — Um nach dem Cap der guten Hoffnung zu segeln, fährt man mit Hülfe des Passats südlich bis in die subtropische Zone und hier mittelst des Nordwestwindes nach dem Cap. Auf der Rückfahrt gelangt man durch den Südostpassat nach Amerika, fährt nördlich herauf ebenfalls bis zur subtropischen Zone. Ebenso sind die Spanier im großen Ocean stets mit dem Nordostpassat von Acapulco nach Manila gefahren.

Sind dies die großen Windströme auf der Erde, wie sie im allgemeinen für ganze Länder und Meeresstriche herrschen, so sind doch für einzelne Orte oft besondere Ursachen vorhanden, welche Ausnahmen veranlassen. Unter diesen ist besonders auch hier der Unterschied von Land und Wasser hervorzuheben, welcher an solchen Orten, die am Meere liegen, die sogenannten *Land- und Seewinde* verursacht. Während des Tages erwärmt sich die Erde, die Luft steigt hier in die Höhe, die kältere Luft strömt vom Meere her; in der Nacht dagegen ist das Meer wärmer, die kalte Luft dringt vom Lande her in die wärmere über der See ein; man hat also *am Tage Seewind*, in der Nacht und namentlich gegen Morgen *Landwind*. Der eben erwähnte Wechsel, der so im Laufe von 24 Stunden Statt findet, tritt in gewissen großen, in das Meer hineinragenden Landstrichen während eines ganzen Jahres zweimal ein. Diese Winde sind die *Moussons*, die mit besonderer Regelmäßigkeit in Vorderindien wehen. Hier herrscht, während des niederen Sonnenstandes vom Oktober bis April nach dem, was bereits früher erwähnt worden ist, der Nordostpassat, der zugleich als ein Landwind betrachtet werden kann. Erwärmt sich dagegen, während die Sonne steigt, also vom April bis Oktober das Festland stärker, so findet eine große Luftströmung von Süden nach Norden Statt, die sich in Folge der Achsendrehung der Erde in eine südwestliche verwandelt; dies ist also ein großartiger Seewind, am deutlichsten an der westlichen Küste von Vorderindien, während er an der östlichen zum Theil eine südöstliche Richtung annehmen muß.

Gesch. Bem. Die Erklärung der Passatwinde durch das Aufsteigen der warmen Luft an dem Aequator ist zuerst von dem Astronomen *Halley* (§ 55.) 1686 gegeben worden; den Einfluß der Drehung der Erde hat aber erst *Hadley* 1735 berücksichtigt. Das Drehungsgesetz des Windes hat zuerst *Baco von Verulam* bemerkt; es ist aber nicht beachtet worden, und erst neuerdings, seit 1827, hat *Dove* (G. B. zu § 107.) dasselbe ausführlich behandelt und auf seine eigentlichen Gründe zurückgeführt.

§ 109. Von dem Zusammenhang der Niederschläge und der Luftströmungen.

Die in dem Vorigen betrachteten Luftströmungen haben nun den bestimmtesten Einfluß auf die Niederschläge in der Atmosphäre und zwar ist die Entstehung derselben hauptsächlich dreifacher Art: 1) Die warme Luft wird wegen ihrer Leichtigkeit mit großer Schnelle zu einer bedeutenden Höhe geführt; dann findet eine plötzliche Wolkenbildung Statt, und ein starker Regenguß strömt herab; der, wie man oben (§ 61.) gesehen hat, häufig von einem Gewitter begleitet ist oder die Ursache desselben bildet. Dies geschieht bei uns oft genug an heißen Sommertagen; ferner über Thälern, die von Gebirgen rings eingeschlossen sind, namentlich aber, wie bereits (§ 61.) erwähnt, ganz regelmäßig alle Nachmittage in der Region der Calmen, wo dieser aufsteigende Luftstrom am stärksten ist. Darin besteht dort die sogenannte Regenzeit. Dergleichen Regengüsse finden vorzugsweise am Tage Statt; sie dauern nicht allzu lange, geben aber in der kurzen Zeit oft eine ganz ungewöhnlich große Regenmenge. 2) Die warmen Aequatorealströme, die zu uns über das Meer kommen, also sehr feucht sind, verlieren diese Feuchtigkeit in unseren Gegenden; dann treten die langdauernden, aber weniger plötzlichen, nie von Gewitter begleiteten Landregen ein, und sie sind es vorzugsweise, die für die Gegenden außerhalb der Tropen die Regenzeit bedingen. In der subtropischen Zone, zu welcher Nordafrika und auch Portugal gehören, wird die Regenzeit bei niedrigem Sonnenstande, also im Winter eintreten, während dort im Sommer der Regen fast ganz fehlt. Für Europa unterscheidet man 2 Regenzonen, je nachdem die größere Regenmenge in den Herbst und Winter, oder in den Sommer fällt. Zu der ersten, der Region der Herbstregen, gehören besonders alle Westküsten, so das westliche Frankreich, England, Holland, Norwegen, ferner die südlichen Halbinseln Italien und Griechenland, während die Sommerregen in Deutschland, Schweden, Rußland vorherrschend sind. Die von den Südwestwinden herbeigeführte Feuchtigkeit schlägt sich nemlich im Herbst und Winter sogleich über dem dann kälteren Festlande nieder, namentlich vermögen die dann niedriger ziehenden Wolken Gebirgszüge nicht zu übersteigen; im Sommer dagegen, wo das Land wärmer ist, ziehen die Wolken bei größerer Höhe über das Gebirge und schlagen sich erst jenseit derselben nieder. Aber überhaupt ist die Regenmenge um so geringer, je mehr man sich von den Küsten entfernt, und je flacher das Land ist. 3) Kältere Luftströme dringen in wärmere Luftschichten; dann wird eine schnelle, aber kurze Regenbildung erfolgen, welche, wenn der kältere Wind anhält, schönes Wetter im Gefolge hat, weil die kältere Luft, wenn sie in wärmere Gegenden kommt, für diese Temperatur noch lange nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist.

Durch die vorhergehenden Betrachtnngen sind wir endlich auch in den Stand gesetzt, den Zusammenhang der bereits erwähnten Schwankungen des Barometerstandes mit den andern Witterungserscheinungen zu erklären. Man unterscheidet aber zweierlei Arten von Schwankungen, periodische d. h. regelmäßig wiederkehrende, und unregel-

mäßige. Bei uns sind die letzteren sehr erheblich und lassen daher die ersteren nur hervortreten, wenn man aus längeren Beobachtungen das Mittel nimmt. In den Tropen dagegen erfolgen die periodischen Schwankungen mit solcher Regelmäßigkeit, daß man aus dem Stande des Barometers die Stunden des Tages bestimmen könnte. Es hat sich nun gezeigt, daß die Stunden, an welchen das Barometer seinen höchsten und niedrigsten Stand zeigt, Wendestunden genannt, im Durchschnitt an allen Orten der Erde dieselben sind. Indem nemlich das Barometer von Mittag an fällt, steht es gegen 4 U. Nachm. am niedrigsten, steigt wieder bis 9½ U., fällt von da bis 4 U. M. und erreicht nach 10 U. abermals seinen höchsten Stand. Der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Stand ist unter den Tropen größer, als in höheren Breiten, und im Winter geringer als im Sommer. Der Barometerstand selbst ist dagegen im Durchschnitt im Januar am höchsten, fällt von da und ist im Juli am niedrigsten, so daß hierdurch eine zweite jährliche Periode entsteht. — Ein ganz gleiches Gesetz befolgt nun der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, für den ebenfalls eine tägliche Periode Statt findet. Derselbe wächst nemlich von 4 U. Morgens bis gegen 9 U. und sinkt von da ab wieder, weil der aufsteigende Luftstrom die Dämpfe in größere Höhe führt und dort verdichtet; von 4 U. Nachm. nimmt dann der Feuchtigkeitsgehalt wieder zu, bis er Abends um 9 U. zum zweiten Male den höchsten Stand erreicht. Der Grund dieses Zusammenhanges ist leicht zu erkennen. Uebt nemlich der Wasserdampf mit seiner Expansivkraft einen Druck auf das Barometer aus, so verschwindet derselbe doch wieder, wenn sich der Dampf zu Wasser verdichtet oder der Feuchtigkeitsgehalt sich vermindert. — Von diesen periodischen Schwankungen muß man die unregelmäßigen unterscheiden. Dieselben sind, wie schon gesagt, bei uns die hervortretendsten; sie aber hängen vorzüglich mit den Windströmungen und mit der Temperatur zusammen, welche diese mit sich führen. Treten nemlich die wärmeren Südwestwinde ein, welche bei uns, wie oben bemerkt, Regen und schlechtes Wetter begleitet, so wird das Barometer aus zwei Gründen fallen, einmal, weil die wärmere Luft sich ausdehnt und daher nach beiden Seiten abfließt, dann weil der vorher mit seiner Expansivkraft auf das Barometer drückende Wasserdampf aufhört zu drücken, sobald er zu Wasser wird. Dagegen üben die kälteren und dichteren Winde einen größeren Luftdruck aus und lassen daher das Barometer steigen. Sobald nun dieselben in die wärmeren Schichten eindringen, entsteht, wie oben gezeigt, ein Niederschlag, dem aber später frisches, klares Wetter folgt. Dieser Zusammenhang zwischen Barometer und Thermometer tritt besonders im Winter hervor, weniger im Sommer, weil dann die Wirkung der Sonnenstrahlen die der Winde überwiegt, jene aber bei klarem Wetter, welches hohen Barometerstand zur Folge hat, kräftiger wirken, als bei bedecktem Himmel, welchen die Südwestwinde verursachen. Man ersieht übrigens, daß gewöhnlich bei heiterem Wetter ein hoher, bei schlechtem ein niedriger Barometerstand Statt finden wird; und da das Eintreten warmer Winde zunächst in den oberen Luftschichten geschieht, so kann das Barometer allerdings auch die schlechte Witte-

rung vorhersagen; da aber andrerseits der Uebergang von dem warmen zu dem kalten Luftstrome von Regen begleitet ist, so kann auch das Barometer steigen, während zunächst Regen folgt. Ueberhaupt aber hängt die Witterung keineswegs allein von dem Luftdrucke ab, und insofern kann auch aus dem Stande des Barometers allein niemals ein sicherer Schluß auf die eintretende Witterung gemacht werden.

Gesch. Bem. zu den Ersch. der Wärme. Es ist natürlich, daß sehr viele auf der Wärme beruhende Erscheinungen von den frühesten Zeiten an bekannt waren. Aber eigentliche Untersuchungen über dieselbe konnten erst angestellt werden, nachdem das Thermometer erfunden war und eine zu vergleichenden Beobachtungen und wirklichen Messungen geeignete Einrichtung gewonnen hatte. Da sah man zunächst, welch überaus unsicheres Unterscheidungsmittel für größere oder geringere Wärme unser Gefühl sei. Bei den zum Zwecke der Verbesserung des Thermometers angestellten Untersuchungen bemerkte man auch bald, daß bei der Veränderung der Aggregatszustände die Temperatur eine längere Zeit unverändert bleibe; daß aber hierbei Wärme gebunden werde, gewissermaßen verschwinde, wurde zuerst 1755 von De Luc (G. B. zu § 103.) und 1757 von Black (G. B. zu § 38.) in Edinburgh ausgesprochen, von denen der Letztere diesen Gegenstand am ausführlichsten behandelt und durch geeignete Versuche festgestellt hat. Von ihm rührt auch der Name der latenten Wärme her. Diese Versuche führten ihn auch dazu, die specifische Wärme der Körper, auf die schon Boerhave aufmerksam gemacht hatte, zu bestimmen; diese Untersuchungen wurden dann von Wilke weiter verfolgt und namentlich mit der größten Umsicht von Lavoisier angestellt. Doch bilden alle diese Erscheinungen noch gegenwärtig den Gegenstand fortgesetzter Untersuchungen. — Daß die Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen verschieden seien, darauf wurde zuerst von Mariotte 1682 aufmerksam gemacht; erst später wurden darüber genaue Untersuchungen von Scheele und Pictet (geb. 1752, gest. 1825 zu Genf, ein Schüler und Freund Saussures) angestellt. Eine vollständige Erklärung dieser Erscheinungen gab Prevost 1790, indem er das oben aufgestellte Gesetz entdeckte, wonach jeder Körper Wärme einerseits ausstrahlt, andrerseits von seiner Umgebung empfängt. Ueber die Abhängigkeit dieser Strahlung von der Verschiedenheit der Körper wurden nun zahlreiche Versuche angestellt, namentlich von Leslie (G. B. zu § 95.) und Rumfort (Graf, geb. 1752 in Nordamerika, gest. 1814 zu Paris, nachdem er auch eine lange Zeit in England und Deutschland gelebt hatte). Die Theorie dieser Erscheinungen ist auf mathematischem Wege zu begründen versucht worden, namentlich von dem ausgezeichneten französischen Mathematiker Fourier (geb. 1768, gest. 1830), dann ist sie auch durch eine große Reihe der feinsten Untersuchungen mit neuen Thatsachen und Gesetzen erweitert worden. Diese, besonders von Melloni (gest. 1854) angestellt, haben hier keine Stelle finden können.

Ganze Klassen von Erscheinuegen, namentlich aus der Lehre vom Lichte, sind unerwähnt geblieben, weil theils die Gesetze, auf denen sie beruhen, im täglichen Leben noch keine Anwendung gefunden haben, theils die Erörterung ihrer Theorie viel zu schwierig ist, um sie in einem kurzen Abriß zu einer klaren Einsicht zu bringen. Diese Gesetze würden aber allerdings dazu gedient haben, den innigen Zusammenhang nachzuweisen, der auch zwischen den drei Gruppen von Erscheinungen Statt findet, die wir in diesem dritten Theile behandelt haben. Es waren Erscheinungen, die unmittelbar nur auf ein-

zelne unsrer Sinne wirkten, der Schall auf das Gehör, das Licht auf das Gesicht, die Wärme auf das Gefühl. Soviel ist aber auch aus denjenigen Erscheinungen, die wir mitgetheilt haben, sichtbar geworden, daß eine große Uebereinstimmung in ihren Gesetzen Statt findet, indem die Wirkung von einem Punkte ausgehend sich nach allen Richtungen geradlinig fortpflanzt. Wir erinnern nur an die Gesetze über die Erleuchtung (§ 78.) und über die Spiegelung der Lichtstrahlen (§ 81.), denen ganz gleiche Gesetze (§ 98.) über die Wärmestrahlung entsprechen, und die auch bei der Fortpflanzung des Schalles und in dem Echo (§§ 76. und 77.) sich wiederfinden. Ebenso entspricht das Mitklingen oder die Resonanz (§ 75.) der unregelmäßigen Zurückwerfung der Lichtstrahlen (§ 83.). Diese Uebereinstimmung in einzelnen Punkten ist aber nur die nothwendige Folge einer weit allgemeineren und tieferen Gleichheit der Entstehung der Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme, die, wie gesagt, hier keine Erklärung finden durfte.

Anhang.

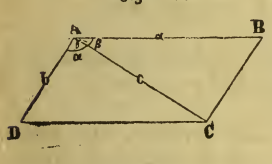
Ze. = Zeiteinheit, Le. = Längeneinheit, Ge. = Gewichteinheit, At. = Atom.

Zu § 3.

Legt ein Körper mit gleichförmiger Geschwindigkeit in t Ze. (tempus) einen Weg von s Le. (spatium) zurück, so ist die Geschwindigkeit desselben (celeritas) $c = \frac{s}{t}$. Daraus ergiebt sich $s = tc$, $t = \frac{s}{c}$; $c : C = \frac{s}{t} : \frac{S}{T}$ $s : S = ct : CT$; für $t = T$, $c : C = s : S$; für $s = S$, $c : C = T : t$; für $c = C$, $t : T = s : S$.

Wirken 2 Kräfte auf einen Körper in gleicher Richtung, so daß ihn die erste allein in 1 Ze. um a Le., die zweite allein um b Le. forttreiben würde, so wird der Körper, durch beide zugleich getrieben, in derselben Richtung in 1 Ze. $a + b$ Le. zurücklegen; wirken beide dagegen in entgegengesetzter Richtung, und ist $a > b$, so macht der Körper in 1 Ze. $a - b$ Le. in der Richtung der ersteren Kraft. — Bilden beide Kräfte einen Winkel γ mit einander und ist c die aus ihnen zusammengesetzte Kraft, so ist, da im Dreieck ADC (Fig. 184.) $CD = a$, und $ADC = 2R - \gamma$ ist, $c^2 = a^2 + b^2 + 2ab \cos \gamma$ (1.), ferner $a : b : c = \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma$ (2.). Mit Hülfe dieser beiden Gleichungen können, wenn drei der Stücke gegeben sind, die drei andern gefunden werden. — Ist

Fig. 184.



besonders $\gamma = 90°$, so ist $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ (3.), $\text{Tang. } \alpha = \frac{a}{b}$. (4.) Dies findet namentlich auch Statt, wenn c in 2 rechtwinklige Kräfte zerlegt werden soll. Bildet die eine Richtung mit c den Winkel α, und ist b der nach dieser Richtung wirkende Theil von c, der andere a, so ist $b = c \cdot \cos \alpha$, $a = c \cdot \sin \alpha$. (5.)

Zu § 4.

Ist die Geschwindigkeit, welche ein nur der Schwere folgender Körper in 1 Ze. erhält g, so ist die Geschwindigkeit v (velocitas) nach t Ze. = tg; (1.) sind also v und v' die Geschwindigkeiten nach t und t' Ze., so ist $v : v' = t : t'$; dies ist das erste Gesetz. Ist nun die Geschwindigkeit am Ende der t'ten Ze. t'g, am Ende der tten tg, so ist die durchschnittliche Geschwindigkeit in der Zwischenzeit von $t - t'$ Ze. $= \frac{t'g + tg}{2} = \frac{1}{2}(t' + t)\,g$. Will man nun den Weg wis-

sen, den der Körper in diesen $t - t'$ Ze. zurückgelegt hat, so muß man diese durchschnittliche Geschwindigkeit, welche den Weg für 1 Ze. bei gleichförmiger Geschwindigkeit bezeichnet, mit der Anzahl der Ze., also mit $t - t'$ multipliciren. Demnach ist der Fallraum in der angegebenen Zwischenzeit $\frac{1}{2}(t - t')(t + t')\,g$. Ist daher $t' = t - 1$, so erhält man für den Weg in der tten Ze. $(2t - 1)\,g$. Da aber $2t - 1$ die tte ungerade Zahl ist, so ist darin das 2te Gesetz enthalten. Setzt man in derselben Formel $t' = 0$, so erhält man den während der t ersten Ze. zurückgelegten Weg $s = \frac{1}{2}t^2g$. (2.) Sind also s und s' die in t und t' Ze. zurückgelegten Wege, so ist $s : s' = t^2 : t'^2$; dies ist das 3te Gesetz. — Mittelst der Gleichungen 1 und 2 kann man aus 2 der Größen g, t, v, s die andern beiden finden. Besonders zu merken ist noch $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ (3.) und $v = \sqrt{2sg}$. (4.) — Befindet sich ein Körper auf einer schiefen Ebene (vergl. § 15.), so wird, wenn ac (Fig. 42.) die Wirkung der Schwere darstellt, nur der durch ad bezeichnete Theil für die Bewegung wirksam. Nun ist aber $acd = cfm = \alpha$, folglich $ad = ac \cdot \sin\alpha$, und wenn $ac = g$ ist, der wirksame Theil der Schwere aber g' heißt, so ist $g' = g \sin\alpha$. Setzt man nun g' statt g in obige Formeln, so erhält man die Werthe für die Geschwindigkeit und den Weg auf der schiefen Ebene $v' = tg'$, $s' = \frac{1}{2}t^2g'$. Leicht zu beweisen sind hieraus folgende 2 Sätze: Ein Körper, der auf einer schiefen Ebene herabgefallen ist, hat dieselbe Endgeschwindigkeit, welche er senkrecht durch die Höhe der schiefen Ebene fallend erlangt haben würde. — Der vertikale Durchmesser eines Kreises wird in derselben Zeit durchfallen, wie eine nach dem Endpunkte des Durchmessers gezogene Sehne.

Zu § 5.

1. Wird ein Körper vertikal nach unten mit einer Geschwindigkeit c geworfen, so ist nach t Ze. die Geschwindigkeit $v = c + tg$ (1.) und der zurückgelegte Weg $s = tc + \frac{1}{2}t^2g$. (2.)

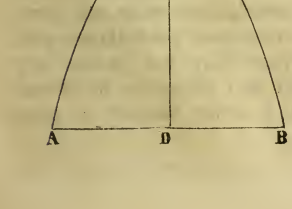
2. Ist die Wurfkraft vertikal nach oben gerichtet, und werden daher v und c als positiv angesehen, wenn sie nach oben gerichtet sind, so daß ein negativer Werth von v eine nach unten gerichtete Geschwindigkeit bezeichnet, so ist $v = c - tg$ (3.), die erreichte Höhe $s = tc - \frac{1}{2}t^2g$ (4.). Der Körper erreicht in diesem Falle seinen höchsten Punkt, wenn $v = 0$, also $c = tg$ ist, und bezeichnen wir diese Zeit mit T, die Höhe mit S, so ist $T = \frac{c}{g}$ (5.) und $S = T\,(c - \frac{1}{2}Tg) = \frac{1}{2}T^2g$ oder $\frac{c^2}{2g}$ (6.). — Sucht man aus 3 und 4 die Geschwindigkeit v' und die Höhe s', wenn $t = T - t'$ ist, und ebenso v'' und s'', wenn $t = T + t'$ ist, d. h. für dieselbe Zeit vor und nach der höchsten Erhebung, so erhält man, wenn man $c = Tg$ setzt, $v' = -v''$ und $s' = s''$, d. h. ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper befindet sich in gleichen Zeiten vor und nach seiner höchsten Erhebung in derselben Entfernung vom Ausgangspunkte und besitzt gleich große, aber entgegengesetzte Geschwindigkeit. Daraus folgt als besonderer

Fall, daß der Körper ebenso lange fällt, als er gestiegen ist, und daß er die Erde mit derselben Geschwindigkeit wieder erreicht, mit welcher er sie verlassen hat. — Die Bewegung eines freifallenden oder eines senkrecht nach unten geworfenen Körpers sind, wie schon S. 4. bemerkt, Beispiele einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung; umgekehrt ist das Steigen eines senkrecht nach oben geworfenen Körpers ein Beispiel einer gleichmäßig verzögerten Bewegung. Die Größe g, um welche in diesen Beispielen die Geschwindigkeit in 1 Ze. zu oder abnimmt, heißt die Größe der Beschleunigung oder Verzögerung. Die Formeln (1.) und (2.) gelten für jede gleichmäßig beschleunigte, die Formeln (3.) und (4.) für jede gleichmäßig verzögerte Bewegung.

3. Ist die Geschwindigkeit c horizontal gerichtet (Fig. 6.), und ist nach t Ze. die horizontale Entfernung vom Ausgangspunkte $OC = x$, die vertikale Senkung $OC' = y$, so ist $x = tc$, $y = \frac{1}{2}t^2 g$. —

4. Bildet endlich c einen Winkel α mit der nach oben gerichteten Vertikale, so zerlegt man c nach der horizontalen und vertikalen Richtung und erhält in der ersteren $c' = c \operatorname{Sin} \alpha$, in der anderen $c'' = s \operatorname{Cos} \alpha$; ist daher u die Geschwindigkeit und x die Entfernung vom Ausgangspunkte in der ersteren, v und y dagegen Geschwindigkeit und Entfernung in der letzteren Richtung, als positiv nach oben gerechnet, so ist $u = c'$, $x = tc'$, $v = c'' - tg$, $y = t(c'' - \frac{1}{2}tg)$. Für den höchsten Punkt der Bahn muß $v = 0$ sein; dann ist also $T = \frac{c''}{g}$ und die größte Höhe $S = \frac{c''^2}{2g}$. Für $t = 2T$ wird $y = 2T(c'' - Tg) = 0$, d. h. der Körper erreicht wieder den Erdboden; dann wird aber x die horizontale Entfernung oder die Wurfweite $= 2Tc' = \frac{2c'c''}{g} = \frac{c^2}{g} \operatorname{Sin} 2\alpha$; dieser Werth ist am größten, wenn $\operatorname{Sin} 2\alpha = 1$, oder $\alpha = 45°$ ist. — Bestimmt man auch hier v für $T - t'$ und $T + t'$, so erhält man, wie unter 2., gleiche aber entgegengesetzte Werthe, und sucht man für beide Fälle die Geschwindigkeit des Körpers, welche also aus u und v zusammengesetzt $= \sqrt{u^2 + v^2}$ ist, so ist auch diese in beiden Fällen gleich groß. Ihre Richtung läßt sich nach der Formel (4.) des § 3. Anh. bestimmen; bezeichnet β den Winkel, welchen die Richtungen mit der Vertikale bilden, so ist $\operatorname{Tang} \beta = \frac{u}{v}$ die daraus erhaltenen Werthe sind also in beiden Fällen gleich groß mit entgegengesetzten Vorzeichen, d. h. die Winkel β ergänzen sich zu 180°.

Fig. 185.



Bezeichnet man ferner für $T - t$ und $T + t$ die vertikalen und horizontalen Abstände mit y', y'', x', x'', so erhält man, indem man zugleich für c'' gT setzt, $y' = y'' = \frac{1}{2}(T^2 - t^2)g$, ferner $x' = (T - t)c'$, $x'' = (T + t)c'$. Sind in Fig. 185 F und G die Orte des Körpers nach $T - t$ und $T + t$

Ze. und ist C der höchste Punkt der Bahn, so ist $CD = S = \frac{1}{2}T^2g$ und $AD = Tc'$, also da $y' = y'' = ED$, $CE = S - y' = \frac{1}{2}t^2g$; ferner ist $EF = AD - x'$, $EG = x'' - AD$, also $EF = EG = tc'$, so daß die krumme Linie auf beiden Seiten von CD ganz gleich gestaltet ist. Setzt man für t, t' und bezeichnet die zu t' gehörigen Punkte mit E', F', so erhält man $CE' = \frac{1}{2}t'^2g$, $E'F' = t'c'$, also $CE : CE' = t^2 : t'^2 = EF^2 : E'F'^2$, welches anzeigt, daß die krumme Linie eine Parabel ist.

Zu § 6.

Wird die beschleunigende Kraft der Schwere (Fig. 8.) AC mit g bezeichnet und ist $AOB = \alpha$, welcher Winkel Elongationswinkel heißt, so ist, da $ACE = CAD = BOA = \alpha$ ist, der in A wirksame Theil jener Kraft, nämlich $AE = g \operatorname{Sin} \alpha$; dieser wird um so kleiner, je kleiner α wird, und für $\alpha = 0$ selbst Null. Durch die höhere Mathematik beweist man, daß, wenn t die Dauer einer Schwingung, l die Länge des Pendels bezeichnet und vorausgesetzt wird, daß α klein ist, sehr genau $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ ist. (1.) Mittelst dieser Formel ergiebt sich aus zwei der Größen l, g, t die dritte; ferner läßt sich, je nachdem l, g oder t für 2 Pendel gleich ist, das Verhältniß zwischen den andern Größen angeben. Ist n die Anzahl der Schwingungen eines Pendels in 1 Ze., so ist offenbar $nt = 1$ (2.), und es kann daher statt t überall auch n in Betracht gezogen werden. Besonders zu merken ist, wenn l das Sekundenpendel bezeichnet, also $t = 1$ ist, $g = l\pi^2$, wodurch die Schwere an einem Orte, oder $l = \frac{g}{\pi^2}$, wodurch die Länge des Sekundenpendels bestimmt wird. Dasselbe ist in Berlin 3,16785 pr. F., in Paris fast genau 1 Mètre. Ferner ist an demselben Orte für verschiedene Pendel $l : l' = t^2 : t'^2 = n'^2 : n^2$ (3.), und an verschiedenen Orten für dasselbe Pendel $g : g' = t'^2 : t^2 = n^2 : n'^2$ (4.) In Formel (4.) ist nun das 1te Gesetz, in (3.) das 3te Gesetz des Lehrbuches enthalten.

Das 4te Gesetz läßt sich auch folgendermaßen nachweisen. Denken wir uns ein Pendel um einen kleinen Winkel α und ein andres ihm vollkommen gleiches um den Winkel ebenfalls kleinen $m\alpha$ von der Vertikalen entfernt und nehmen während einer kleinen Zeit τ die Beschleunigung unverändert an, so sind die zurückgelegten Wege $\frac{1}{2}\tau^2 g \operatorname{Sin} \alpha$ und $\frac{1}{2}\tau^2 g \operatorname{Sin} m\alpha$, oder da sich für kleine Bogen die Winkel, wie die Sin. verhalten, $\frac{1}{2}\tau^2 g\alpha$ und $\frac{1}{2}\tau^2 gm\alpha$; der Weg des letzteren ist also das m fache des ersteren; ist der übrigbleibende Bogen des ersteren daher α', so ist der des letzteren $m\alpha'$, und daher für das nächste kleine Zeittheilchen ebenfalls der zurückgelegte Weg des zweiten das m fache des ersteren, u. s. w.; also überhaupt der während gleicher Zeiten vom zweiten Pendel zurückgelegte Weg das m fache des ersteren. Während daher das erste Pendel den Bogen α zurücklegt, legt das zweite den Bogen $m\alpha$ zurück, d. h. beide kommen zu gleicher Zeit in der Vertikalen an.

Zu § 7.

Fig. 10. Da DE = AD und ADE eine gerade Linie ist, so ist $\triangle$ AMD = DME, und da GE = FD, so ist auch DME = DGM, folglich AMD = DMG; AD, DG sind aber die Wege, welche in zwei gleichen, sehr kleinen Zeittheilchen von dem Körper beschrieben werden, MA, MD, MG die Radienvektoren, die Dreiecke AMD, DMG die von den Radienvektoren in den kleinen Zeittheilchen beschriebenen Räume. Sind nun für jedes kleine Zeittheilchen diese Flächen gleich, so sind sie es auch für 2 beliebige gleiche Summen solcher Zeittheilchen, wie es das zweite Kepplersche Gesetz aussagt.

Ist der von dem Körper beschriebene Weg ein Kreis, so sind die von den Radienvektoren beschriebenen Räume Sektoren, und da gleiche Sektoren zu gleichen Bogen gehören, so werden in diesem Falle in gleicher Zeit gleiche Bogen zurückgelegt, oder die Bewegung ist eine gleichförmige, und die Geschwindigkeit c ist daher $= \frac{2r\pi}{t}$ (1.), wenn der Körper den Kreis, dessen Radius r Le. beträgt, in t Ze. beschreibt. — Um die durch die Centripetalkraft hervorgebrachte Geschwindigkeit zu bestimmen, bedenke man, daß, wenn in Fig. 9. BC den Weg des Körpers in 1 Ze. oder die Geschwindigkeit c darstellt, BE derjenige Weg ist, welchen er durch die Centripetalkraft getrieben in derselben Ze. zurückgelegt haben würde. BE ist aber $= \frac{BC^2}{2r} = \frac{c^2}{2r}$. Nach Anh. zu § 5. 2. a. E. ist also die in der Ze. durch die Centripetalkraft hervorgebrachte Geschwindigkeit oder das Maaß der Beschleunigung $f = \frac{c^2}{r}$ (2.) Durch diese Formeln (1.) und (2.) kann man aus zwei der Größen c, r, t, f die andern beiden finden. Besonders zu merken ist $f = \frac{4r\pi^2}{t^2}$ (3.). So kann z. B. aus der Umlaufszeit des Mondes und der Entfernung desselben die Anziehungskraft zwischen der Erde und dem Mond berechnet werden. Ferner ist für R = r, $F : f = C^2 : c^2$ (4.) oder für T = t, F : f = R : r (5.). — Wenn g die gegenseitige Anziehungskraft zweier Körper ist, deren Massen M, m sind und deren gegenseitige Entfernung d ist, so ist durch die Erfahrung bestätigt, daß $g = \frac{Mm}{d^2}$ (6.), wobei die Anziehung, welche zwei Körper, deren Massen 1 sind, und deren Entfernung 1 ist, auf einander ausüben, = 1 gesetzt wird. Bezeichnet nun M die Masse der Sonne, m die eines Planeten, d ihre Entfernung, welche, wenn gleich veränderlich, doch, da die Ellipse sich wenig von dem Kreise unterscheidet, im Durchschnitt = r, der mittleren Entfernung gesetzt werden kann, so ist die gegenseitige Anziehung $\frac{Mm}{r^2}$. Da aber dadurch die Masse m in Bewegung gesetzt werden soll, so ist die aus-

geübte Beschleunigung für den Planeten $\frac{M}{r^2}$ (vergl. § 17. Anh. 2); für einen andern Planeten, dessen mittlere Entfernung $= R$ ist, ist sie ebenso $\frac{M}{R^2}$; folglich verhält sich $F : f = \frac{1}{R^2} : \frac{1}{r^2}$. Da aber auch nach (3.) $F : f = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$ ist, so ist auch $\frac{1}{R^2} : \frac{1}{r^2} = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$ oder $T^2 : t^2 = R^3 : r^3$, welches das 3. Kepplersche Gesetz ist. — Wenn r der Radius des Aequators, ϱ der eines Parallelkreises unter der geographischen Breite φ ist, so ist $\varrho = r \cos \varphi$, folglich wegen (5.), wenn die Schwungkraft unter dem Aequator f ist, die unter der Breite φ, $f' = f \cos \varphi$; zerlegt man sich dieselbe nach der vertikalen und horizontalen Richtung, so ist der erstere Theil nach § 3. Anhang (5.) $f' . \cos \varphi = f . \cos^2 \varphi$, und diese wirkt der Anziehungskraft der Erde entgegen.

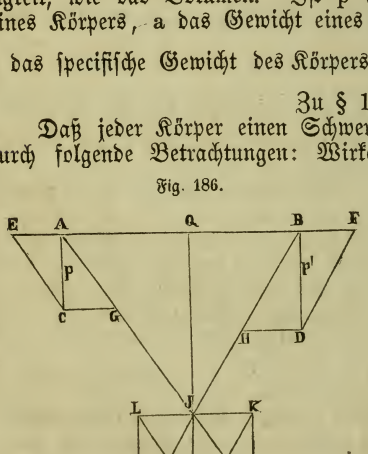
Zu § 9.

Bezeichnet d (densitas) die Dichte, m (materia) die Masse, und v (volumen) das Volumen eines Körpers, so ist $d = \frac{m}{v}$ (1.), wobei die Dichtigkeit eines Körpers, dessen Volumen und Maße 1 sind, $= 1$ gesetzt wird. Hieraus folgt unmittelbar: die Dichtigkeit zweier Körper verhält sich bei gleichem Volumen, wie die Masse; bei gleicher Masse umgekehrt, wie das Volumen; die Masse aber bei gleicher Dichtigkeit, wie das Volumen. Ist p (pondus) das absolute Gewicht eines Körpers, a das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser und s das specifische Gewicht des Körpers, so ist $s = \frac{p}{a}$ (2.).

Zu § 10.

Daß jeder Körper einen Schwerpunkt haben müsse, ergiebt sich durch folgende Betrachtungen: Wirken an der geraden Linie AB (Fig. 186.) die parallelen Kräfte AC und BD, und zerlege ich mir AC in AE und AG, BD in BF, welches gleich, aber entgegengesetzt AE gemacht wird, und BH, so werden sich AE und BF aufheben, und die Wirkung von AC und BD ist dieselbe, wie die von AG und BH. Die Richtungen derselben schneiden sich in I; denkt man I mit AB fest verbunden, so wird dieselbe Wirkung entstehen, wenn ich mir statt AG und BH, IM ∥ AG und IN ∥ BH in I angebracht denke. Füge ich jetzt in I außerdem die sich aufhebenden Kräfte IK und IL ∥ AE hinzu, und setze IM und IL in IP, IK und IN in IO zusammen, so wer-

Fig. 186.



den natürlich wegen der congruenten Dreiecke IP # AC, IO # BD sein, also IM und IN oder die ursprünglichen Kräfte AC und BD ebenso wirken, als die einzige Kraft IO + IP = AC + BD, wenn die letztere in I oder im Punkte Q an der Linie AB angebracht wäre. Es ist aber, da PIK ∞ IQA, und IQB ∞ OIL, PI : IK = IQ : QA, LI : IO = BQ : QI, also durch Zusammensetzung PI : IO = BQ : QA (1.), d. h. Q liegt so, daß sich die Abschnitte von AB umgekehrt verhalten, wie die angebrachten Kräfte. Es ist also gezeigt, daß die parallelen Kräfte AC und BD dieselbe Wirkung haben, als eine ihnen parallele Kraft AC + BD in dem Punkte Q. Auf dieselbe Weise läßt sich nun die in Q wirkende Kraft, welche die an den Punkten A und B wirkenden Kräfte ersetzt, mit einer an einem 3ten Punkte wirkenden parallelen Kraft zusammensetzen und dies Verfahren fortsetzen, wobei man einen Punkt von der Beschaffenheit findet, daß, wenn man sich die Summe der Kräfte in demselben angebracht dächte, die Wirkung dieselbe wäre, als die aller einzelnen in den verschiedenen Punkten wirkende Kräfte. Die auf jeden einzelnen Punkt eines Körpers wirkende Schwere bildet nun solche parallel ziehenden Kräfte, deren Summe gleich dem Gewicht des Körpers ist. Es wird also in dem Körper einen Punkt von der Beschaffenheit geben, daß, wenn das Gesammtgewicht des Körpers in demselben angebracht wäre, die Wirkung dieselbe wäre, welche die auf alle einzelnen Punkte des Körpers wirkende Schwere ausübt. — Lassen sich nun alle Punkte einer Linie, eine Fläche, eines Körpers paarweise so verbinden, daß ein und derselbe Punkt der Schwerpunkt sämmtlicher Paare ist, so ist offenbar dieser Punkt auch der Schwerpunkt des Ganzen. Daher liegt der Schwerpunkt einer gleichförmig schweren geraden Linie in der Mitte derselben, ebenso der der Fläche oder des Umfanges eines Kreises, eines Ringes, der einer Kugel und ihrer Oberfläche im Mittelpunkte derselben. — Liegen die Schwerpunkte sämmtlicher paralleler Linien oder Ebenen, die man in einer Fläche oder einem Körper legen kann, in einer geraden Linie oder in einer Ebene, so liegt auch der Schwerpunkt des Ganzen in dieser Linie oder in dieser Ebene. Daher liegt der Schwerpunkt eines regelmäßigen Vielecks oder Polyeders in den Geraden, welche von den Ecken durch den Mittelpunkt gezogen sind, also in diesem Mittelpunkte selbst; ferner der Schwerpunkt einer Dreiecksfläche in den Linien, welche von den Ecken nach den Mitten der Gegenseiten gezogen sind, folglich im Durchschnitt derselben. Es ist leicht zu zeigen, daß dieser auf einer solchen Halbirungslinie um $\frac{2}{3}$ ihrer Länge von der Spitze aus entfernt liegt. — Ebenso muß der Schwerpunkt eines Parallelogramms der Durchschnitt ihrer Diagonalen sein. — Der eines Cylinders oder seines Mantels oder seiner Gesammtoberfläche liegt einerseits in der Achse, andrerseits in der durch die Mitte der Achse parallel der Grundfläche gelegten Ebene, also in der Mitte der Achse selbst; ebenso der eines Prismas in der Mitte der Verbindungslinie der Schwerpunkte beider Grundflächen oder in dem Schwerpunkt des Durchschnitts, welcher in der Mitte zwischen beiden Grundflächen liegt. Auf dieselbe Weise, wie für das Dreieck, folgt, daß der Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide auf

einer Linie, die von der Spitze nach dem Schwerpunkt der gegenüberliegenden Grundfläche gezogen wird, um $\frac{3}{4}$ ihrer Länge von der Spitze entfernt liegt; und dasselbe gilt für alle Pyramiden und ebenso für die Kegel.

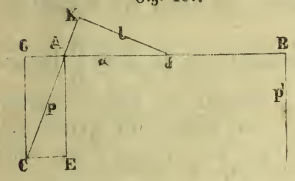
Zu § 11.

In dem Zusatze zu § 10. ist so eben gezeigt, daß die parallelen Kräfte AC (p) und BD (p′) (Fig. 186.), deren Richtung wir zugleich senkrecht auf AB annehmen wollen, soviel wirken, als die Kraft AC + BD = (p + p′) in Q angebracht, wo p : p′ = BQ : AQ, also p : p + p′ = BQ : BA, und $BQ = \frac{p \,.\, BA}{p + p'}$ ist. Nennt man die Entfernung der Punkte A und B von einem auf der Verlängerung von AB gelegenen Punkte X, a und a′, so erhält man $XQ = a'' = a' + \frac{p(a - a')}{p + p'}$, folglich (p + p′) a″ = pa + p′a′. Wäre nun in dem Punkte Q eine Kraft p″ = −(p + p′), d. h. gleich der Summe p + p′, aber in entgegengesetzter Richtung wirkend angebracht, so würden sich die 3 Kräfte p, p′, p″ das Gleichgewicht halten und es wäre pa + p′a′ + p″a″ = o. Dann läßt sich aber auch p′ als diejenige Kraft ansehen, welche den andern beiden das Gleichgewicht hält und eine ihr gleiche und entgegengesetzte — p′ müßte dieselbe Wirkung äußern, als p und p″ zusammengenommen; man erhielte auch hier pa + p″a″ = (p + p″) a′, da − p′ = p + p″. Diese Produkte der Kräfte in die Entfernung ihrer Richtung von einem Punkte X nennt man das statische Moment der Kräfte in Bezug auf X. Sollen also 2 parallele Kräfte nach derselben oder entgegengesetzten Richtungen durch eine dritte ersetzt werden, so muß 1., die dritte gleich der algebraischen Summe jener beiden, und 2., die algebraische Summe der statischen Momente jener Kräfte für einen beliebigen Punkt gleich dem statischen Moment der dritten sein. Die erste Bedingung bestimmt die Größe der dritten Kraft, die zweite den Ort ihres Angriffspunktes. Es ist sichtbar, daß sich beide Bedingungen auf beliebig viele parallele Kräfte ausdehnen lassen. Denken wir uns nun die Kräfte p, p′, p″ . . . in den Entfernungen a, a′, a″ . . . von einem Punkte X an einem Hebel angebracht, so werden sie zusammengesetzt gleichwirkend sein einer Kraft P = p + p′ + p″ . . . (1.), in einem Punkte, dessen Entfernung x von X sich aus der Gleichung Px = pa + p′a′ + p″a″ . . (2.) ergiebt. Ist also dieser Punkt der feste Drehpunkt des Hebels, so werden sich sämmtliche Kräfte das Gleichgewicht halten, und der Punkt selbst den Druck P erfahren. Nehmen wir nun etwa an, daß a, a′ . . . > x, a″, a‴ . . . < x ist, so ist nach (2.) (a − x) p + (a′ − x) p′ . . . . = (x − a″) p″ + (x − a‴) p‴ . . . , wo a − x . . . , x − a″ . . . die absoluten Entfernungen vom Drehpunkte und die Produkte die statischen Momente in Bezug auf den Drehpunkt sind. Für den einfachsten Fall zweier Kräfte, p, q, deren Entfernungen vom Drehpunkt α und β sind, ist also bei einem zweiarmigen Hebel $\alpha p = \beta q$, P = p + q; für den einarmigen Hebel aber, wenn q der absolute Werth der Kraft = − p′ ist, ist $\alpha p - \beta q = 0$, also $\alpha p = \beta q$ und mit Berücksichtigung des

Vorzeichens $P = p - q$. — Der einzige Fall, in welchem die vorige Erörterung illusorisch wird, findet Statt, wenn $P = 0$, indem dann zur Erfüllung der Gleichung (2.) $x = \infty$ gesetzt werden muß. In der That lassen sich in diesem Falle die Kräfte nicht durch eine einzige ersetzen.

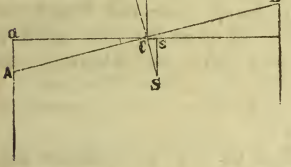
Es bleibt noch der Fall zu erörtern, daß die Kräfte unter schiefem Winkel wirken. Zerlege ich mir nun die beliebige Kraft p (Fig. 187.) in eine nach der Richtung des Hebels AG und in eine darauf senkrechte AE, so wird AG, da der Punkt I fest ist, nur einen Druck auf I äußern, aber nicht auf die Drehung des Hebels wirken. Das statische Moment von AE ist aber AE . a. Fällt man nun von I ein Loth l auf AC, so ist $IAK \sim ACE$, folglich $AE \cdot a = lp$; man ersieht also, daß die Wirkung, welche eine schiefwirkende Kraft auf die Drehung des Hebels äußert, sich ersetzen läßt durch die einer senkrecht wirkenden, deren statisches Moment gleich ist dem der gegebenen Kraft, wenn man nur auch hier dasselbe als das Produkt der Kraft in die (natürlich senkrechte) Entfernung ihrer Richtung vom Drehpunkte ansieht.

Fig. 187.



Zu § 12.

Fig. 188.



(Fig. 188.) Ist AB der Wagebalken, C sein Mittelpunkt und zugleich der Drehpunkt, sein Schwerpunkt S, ist ferner Q das Gewicht des Wagebalkens, welches in S wirkt, p das Uebergewicht der linken Seite, welches die schiefe Stellung der Wage verursacht hat und in A wirkt, ist endlich der Ausschlagswinkel $dCc = \alpha$, so ist, wenn die Wage in Ruhe ist, $p \cdot aC = Q \cdot Cs$. Setzt man nun $CS = n$, $AC = a$, so ist $Cs = n \cdot \sin \alpha$, $aC = a \cdot \cos \alpha$, folglich $pa \cos \alpha = Qn \sin \alpha$, also $\operatorname{Tang} \alpha = \frac{ap}{Qn}$. Bleibt nun p unverändert, so wird Tang α, also auch a größer, wenn a größer, oder n oder Q kleiner werden, d. h. der Ausschlagswinkel oder die Empfindlichkeit der Wage ist um so größer, 1) je größer die Länge der Arme des Wagebalkens, 2) je kleiner die Entfernung des Schwerpunktes von dem Drehpunkte, 3) je kleiner das Gewicht des Wagebalkens ist.

Zu § 13.

Ist in diesem Paragraph stets p die Kraft, q die Last, so ist für die feste Rolle $p = q$, für die bewegliche, wenn beide Seile parallel gehen, $p = 2q$, für den gemeinen Flaschenzug, wenn n die Anzahl der Rollen ist, $q = np$, und der Druck auf die Unterstützung in allen Fällen

$= p + q$. Für das Rad an der Welle seien R und r die Radien des Rades und der Welle, dann ist $Rp = qr$. Sind die Halbmesser mehrerer Räder R, R', R'' ... und die der dazu gehörigen Getriebe r, r', r'' ..., und p und q die am ersten Rade und am letzten Getriebe angebrachten Kräfte, so ist $q \cdot r \cdot r' \cdot r'' \ldots = p \cdot R \cdot R' \cdot R'' \ldots$ — Hat ein Rad n Zähne, welche in ein andres mit N Zähnen eingreifen, so wird, während das letztere sich einmal umgedreht hat, das erstere $\frac{N}{n}$ Umdrehungen gemacht haben; ist daher die Anzahl der Umdrehungen des ersten u, die des zweiten U, so ist $u = \frac{N}{n} U$; und sind in ähnlicher Weise n, n', n'' ... die Anzahl der Zähne mehrerer Getriebe, N, N' N'' ... die der Zähne der Räder, in welche jene Getriebe eingreifen, u, U, die Anzahl der Umdrehungen des ersten Getriebes und des letzten Rades, so ist $u = \frac{N}{n} \cdot \frac{N'}{n'} \cdot \frac{N''}{n''} \cdot \ldots U$.

Zu § 15.

Ist l die Länge, h die Höhe, b die Grundlinie der schiefen Ebene und α der Winkel, den diese Ebene mit dem Horizonte bildet, ist ferner q das Gewicht eines Körpers, q' der für die Bewegung wirksame Theil, q'' der Druck auf die Unterlage, so ist $q' = q \cdot \frac{h}{l} = q \sin \alpha$, $q'' = q \cdot \frac{b}{l} = q \cos \alpha$. Wirkt dem Gewichte eine Kraft p entgegen, welche mit ab einen Winkel β bildet, so ist derjenige Theil dieser Kraft, welcher q' entgegen wirkt $= p \cdot \sin \beta$, für das Gleichgewicht muß also $p \cdot \sin \beta = q \cdot \sin \alpha$ sein. Ist $\beta = 90°$, so erhält man $p = q \sin \alpha$; ist dagegen $\beta = 90° - \alpha$, also die Richtung von p horizontal, so ist $p = q \cdot \operatorname{tang} \alpha$.

Zu § 16.

Zerlegt man (Fig. 44.) den Widerstand $ba = q$, der senkrecht auf die Seiten des Keiles ausgeübt wird, senkrecht und parallel zu AB in af und ac, so ist $af = q'$ derjenige Theil des Widerstandes, den die senkrecht auf den Rücken des Keiles wirkende Kraft zu überwinden hat, während der andere größere Theil den Keil zusammenzudrücken strebt. Sind nun r, s, α der Rücken, die Seite und der Winkel des Keiles, so ist, da abc $\sim$ aed $\sim$ CBD ist, $q' = q \cdot \frac{r}{2s} = q \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$. — Zerlegt man den Widerstand $ab = q$ (Fig. 45.), den die Schraube überwindet, in eine darauf senkrechte und in eine auf den Schraubengang senkrechte und auf denselben drückende Kraft ag und ac, so ist abc $\sim$ edf, folglich $ab : bc = ed : df$. Ist daher der Radius eines Schraubenganges r, die Höhe desselben h, q die dadurch ausgeübte Kraft, R der Hebelarm, an dem die Kraft p angebracht ist, so ist $p = \frac{qh}{2r\pi} \cdot \frac{r}{R} = \frac{qh}{2R\pi}$.

Zu § 17.

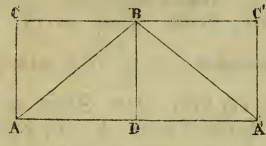
Nimmt man die Kraft, welche der Ge. eine Geschwindigkeit von der Le. ertheilt, zur Krafteinheit, so ist die Kraft p, welche einem Körper, dessen Masse m Ge. enthält, eine Geschwindigkeit von c Le. ertheilt, $= mc$. (1.) Dies nennt man die bewegende Kraft. Wirkt eine bewegende Kraft p auf einen Körper, dessen Masse m ist, so wird ihm durch diese Kraft eine Geschwindigkeit $c = \frac{p}{m}$ (2.) ertheilt.

Hierbei mögen die einfachsten Gesetze aus der Lehre vom Stoße noch eine kurze Herleitung finden. Wenn 2 harte Kugeln A, A', deren Massen m und m' und deren Geschwindigkeiten c und c' sind, sich in derselben Richtung hinter einander her bewegen, so daß die erstere die zweite einholt und die gemeinschaftliche Richtung senkrecht auf der Berührungsebene steht, so behalten sie dieselbe Richtung auch nach dem Stoße bei; die erstere theilt aber der zweiten so lange von ihrer bewegenden Kraft mit, bis beide gleiche Geschwindigkeit haben, und dann gehen sie mit dieser Geschwindigkeit weiter. Heißt dieselbe v, so muß also $v = \frac{mc + m'c'}{m + m'}$ sein. Besondere Fälle sind, wenn $m = m'$ ist, oder c' Null oder negativ ist. — Sind beide Kugeln vollkommen elastisch, so wird die Kugel A, indem sie der andern A' ihre Geschwindigkeit mittheilt, diese dadurch zusammendrücken und auch selbst zusammengedrückt werden. Nachdem nun beide gleiche Geschwindigkeit erhalten haben, die, wie vorher, $\frac{mc + m'c'}{m + m'}$ ist, sucht A sich wieder auszudehnen und übt dieselbe Kraft, mit der sie zusammengedrückt worden ist, nach der entgegengesetzten Seite aus, theilt also der Kugel A' an bewegender Kraft noch einmal dasselbe mit, was sie ihr bereits mitgetheilt hatte, und erfährt daher auch den doppelten Verlust an Geschwindigkeit; ihre Geschwindigkeit war aber im Anfange c, sie sei nach der Zusammendrückung $u = \frac{mc + m'c'}{m + m'}$, also war der Verlust $c - u$; also ist die Geschwindigkeit v, welche dem Körper A nach dem Stoße verbleibt, $= c - 2(c - u) = 2u - c = 2 \cdot \frac{mc + m'c'}{m + m'} - c$ $= \frac{c(m - m') + 2c'm'}{m + m'}$. Ebenso findet man für A' die Geschwindigkeit v' nach dem Stoße $= \frac{c'(m' - m) + 2cm}{m + m'}$. Für $m = m'$, wird $v = c'$, $v' = c$. Besondere Fälle treten ein, wenn c Null oder negativ wird.

Trifft eine elastische Kugel eine Wand senkrecht, so ist $c' = 0$, und es kann $m' = \infty$ gesetzt werden; dividirt man dann Zähler und Nenner von v durch m', so erhält man $v = \frac{c\left(\frac{m}{m'} - 1\right) + 2c'}{\frac{m}{m'} + 1} = -c$,

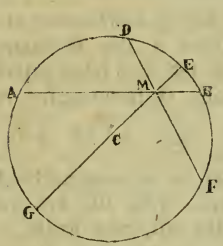
d. h. die Kugel prallt von der Wand in entgegengesetzter Richtung mit gleicher Geschwindigkeit zurück. Trifft sie aber die Wand unter einem schiefen Winkel mit der Geschwindigkeit AB (Fig. 189.), so zerlegt sich die letztere in die Geschwindigkeit CB und DB, die erstere wird durch die Wand nicht geändert, und die Kugel würde daher in Folge derselben in der nächsten Ze. einen Weg BC' = CB zurücklegen. Vermöge der Geschwindigkeit DB dagegen würde sie in der entgegengesetzten Richtung zurückgestoßen, und käme also nach der Ze. wieder in D an. Die aus BC' und BD zusammengesetzte Geschwindigkeit ist aber BA', wo BA' = BA und ABC = A'BC' sind, die elastische Kugel prallt also von einer elastischen Wand mit unveränderter Geschwindigkeit so zurück, daß ihre Richtungen mit dem Lothe, welches auf der Wand in dem Treffpunkte errichtet wird, in einer Ebene liegen und gleiche Winkel bilden.

Fig. 189.



Zu § 18. Anm.

Fig. 190.



Da jeder Punkt einer Masse von allen andern Punkten angezogen wird, so wird der Punkt M (Fig. 190.) von den über AB liegenden Punkten weniger angezogen, als von denen unter AB, ebenso mehr nach links von DF, als nach rechts, und nur, wenn EG durch den Schwerpunkt C des Ganzen geht, wird der Punkt nach beiden Seiten von EG gleich stark gezogen. Es ergiebt sich hieraus, daß jeder Punkt einer Masse von allen andern Punkten so gezogen wird, daß er sich der Seite, wo der Schwerpunkt liegt, also diesem selbst zu nähern strebt. Darum haben auch alle Körper auf der Erde das Bestreben, sich dem Mittelpunkte der Erde immer mehr zu nähern, was sonach nicht eine Wirkung dieses einzlnen Punktes, sondern die vereinte Wirkung der Anziehung aller Punkte ist. Daraus ergiebt sich dann leicht die weitere Folgerung der Anmerkung.

Zu § 19.

Enthält eine horizontale Fläche g Qf., ist ihre Tiefe unter dem Niveau h F., das Gewicht eines Kubf. Wasser p Pfd. und das specifische Gewicht der Flüssigkeit, in welcher sich die Fläche befindet, s, so ist der vertikale Druck, den die letztere erfährt, = ghsp Pfd.

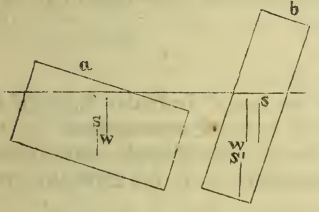
Zu § 20. Anm.

Sind s und s' die specifischen Gewichte zweier Flüssigkeiten, die sich in zwei communicirenden Röhren befinden, h und h' die Höhen der Niveaus derselben von der gemeinschaftlichen Grenzfläche an gerechnet, und g diese Grenzfläche selbst, so muß der Druck, den die letztere von beiden Flüssigkeiten nach entgegengesetzten Richtungen erfährt, gleich sein, oder es muß sgh = s'gh', also s : s' = h' : h sein.

Zu § 21.

Ist v das Volumen, s das specifische Gewicht eines Körpers, und ist v' derjenige Theil desselben, mit welchem er in eine Flüssigkeit von dem specifischen Gewichte s' eintaucht, so ist $s'v' = sv$. Da auf einen schwimmenden Körper zwei Kräfte wirken, die Schwere des Körpers, welche in dem Schwerpunkte des Körpers herabziehend gedacht werden kann, und das verdrängte Wasser, welches im Mittelpunkte des eingetauchten Theiles aufwärts drückend angenommen werden muß, so müssen beide Punkte in einer geraden Linie liegen, wenn der Körper in Ruhe schwimmen soll. Ist der Schwerpunkt des Körpers unter dem des verdrängten Wassers, so werden bei einer geringen Neigung beide Kräfte den Körper wieder in die vorige Lage zu bringen streben. Das Letztere tritt im allgemeinen auch ein, wenn ein langer Körper auf seiner langen Seite schwimmt; in s (Fig. 191.) sei der Schwerpunkt des Körpers, in w der des verdrängten Wassers, an denen die Kräfte nach der Richtung der gezeichneten Linien wirken, dann werden beide die rechte Seite des Körpers a zu heben suchen. Bei dem Körper b werden dagegen beide Kräfte dahin wirken, denselben umzuwerfen, und nur, wenn der Schwerpunkt durch künstliche Beschwerung der unteren Theile etwa in s' wäre, würden beide Kräfte vereinigt ihn in die vertikale Lage zurückführen.

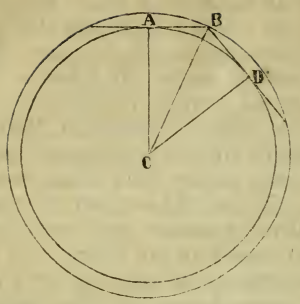
Fig. 191.



Zu § 24.

Hätte die Luft überall dieselbe Dichtigkeit, als an der Erdoberfläche, nämlich $\frac{1}{770}$ von der des Wassers, so würde die Höhe der Atmosphäre, da der Druck derselben im allgemeinen einer Quecksilbersäule von 28″ gleich ist, 770 . 13,85 . 28 par. Zoll oder etwas über eine deutsche Meile betragen. — Sucht man dagegen die Höhe unter dem Aequator, in welcher die Schwungkraft der Anziehungskraft der Erde gleich ist, so sei x die Entfernung dieser Höhe vom Mittelpunkte der Erde, der Erdhalbmesser als 1 gesetzt; die Schwungkraft an der Erdoberfläche ist 0,108 Fuß, die Schwerkraft 31,16 Fuß, in der Höhe x ist nun jene, die nach § 7. Anhang (5.) in gleichem Verhältniß mit dem Radius zunimmt, 0,108 x, die Schwerkraft, welche nach dem Quadrat der Entfernung abnimmt $= \frac{31,16}{x^2}$, also $x^3 = \frac{31,16}{0,108}$ und daher $x = 6,6$, woraus die Höhe der Atmosphäre sich auf 5 — 6 Erdhalbmesser berechnen würde. Beide Bestimmungen haben, wie man sieht, nur ein theoretisches Interesse und entfernen sich weit von der Wirklichkeit. Ein genaueres Resultat ergiebt

Fig. 192.



sich aus der Dämmerung (§ 83.) Es sei AC (Fig. 192.) der Halbmesser r der Erdkugel und A der äußerste Punkt derselben, welcher von den directen Strahlen der aufgehenden Sonne beschienen wird, so werden diese Strahlen, wenn der mit BC beschriebene Kreis die Grenze der Atmosphäre bezeichnet, diese Grenze in B und von da zurückgeworfen die Erde in D treffen, welches also der Punkt ist, für den die Dämmerung beginnt. Nun ist der Bogen AD und folglich der Winkel ACD der Erfahrung gemäß 18°, also ist die Höhe der Atmosphäre CB—CA $= \frac{2r \operatorname{Sin}{}^2 4,5^0}{\operatorname{Cos} 9^0} =$ c . 10,7 Ml.

Zu § 25.

Enthält die Fläche, auf welche der darauf senkrechte Luftdruck bestimmt werden soll, g Quadratzoll, ist b der Barometerstand, q das specifische Gewicht des Quecksilbers, w Lth. das Gewicht eines Kubikzolles Wasser, fast genau 1 Lth. Neugewicht, so ist der Druck auf jene Fläche gbqw Lth.

Zu § 26. und 27.

Bezeichnen d und d' die Dichtigkeiten, e und e' die Expansivkräfte, v und v' die Volumina, k und k' die zusammendrückenden Kräfte für 2 gleichartige Luftmassen derselben Temperatur, so ist $d : d' = e : e' = v' : v = k : k'$ (1.). — Hieraus läßt sich leicht herleiten, daß bei unveränderter Temperatur die Dichtigkeit der Luft nach dem Gesetze einer geometrischen Reihe abnimmt, wenn die Höhe nach einer arithmetischen Reihe zunimmt. Denken wir uns nämlich eine Luftsäule in eine Reihe über einander liegender horizontaler Schichten von derselben Höhe h getheilt, die so klein ist, daß wir die Dichtigkeit d innerhalb der einzelnen als gleichförmig ansehen können, so verhalten sich nach (1.) die Dichtigkeiten in den einzelnen Schichten wie die Expansivkräfte, die durch die Barometerstände angegeben werden; sind also jene in den einzelnen Schichten, d, d_1, d_2 . . ., die letzteren b, b_1, b_2 . . ., so ist $d : d_1 : d_2 \ldots = b : b_1 : b_2 \ldots$ Andrerseits verhalten sich die Dichtigkeiten, wie die Gewichte der Luftsäulen, da sie gleiches Volumen haben. Das Gewicht der untersten Schicht wird aber offenbar gemessen durch $b - b_1$, das der zweiten durch $b_1 - b_2$, also ist auch $d : d_1 : d_2 = b - b_1 : b_1 - b_2 : b_2 - b_3$, folglich ist $b : b_1 = b - b_1 : b_1 - b_2$, folglich $b : b_1 = b_1 : b_2$ und ebenso $= b_2 : b_3$ ꝛc. Setzt man nun $b : b_1 = e$, so ist in der Höhe nh $b_n = e^n b$, in der Höhe mnh $b_{mn} = e^{mn} b$, $\frac{b_{mn}}{b_n} = \frac{(e^n)^m}{e^n} = \frac{E^m}{E}$, wenn $e^n = E$ gesetzt wird. Verhalten sich also die Höhen nh und mnh = 1 : m, so verhalten sich die Ba-

rometerstände b_n und $b_{nm} = E : E^m$. Dies gilt aber, wie groß man auch n annehmen mag, also gilt das obige Gesetz allgemein: wenn sich die Höhen verhalten $= 1 : 2 : 3 \ldots : m$, so verhalten sich die Barometerstände, also auch die Dichtigkeiten $= E^1 : E^2 : E^3 \ldots : E^m$. — Aus (2.) folgt $n = \frac{\log. b_n - \log. b}{\log. e}$. Nun ist bekannt, daß auf etwa 75 Par. F. das Barometer um 1 Linie, oder von 336‴ auf 335‴ falle, also wird $75 = -\frac{\log. 336 - \log. 335}{\log. e}$, oder $\log. e = -\frac{\log. 336 - \log. 335}{75}$, ungefähr $= -\frac{1}{60000}$ sein, wo e der Quotient der Barometerstände zweier Orte ist, deren vertikale Entfernung 1 Par. F. beträgt; und folglich wird, wenn b und b_n die Barometerstände an zwei senkrecht übereinander liegenden Orten sind, der Höhenunterschied beider Orte $n = (\log. b = \log. b_n) . 60000$ Par. F. (3.) sein. Zu genauerer Bestimmung sind aber freilich noch viele Berichtigungen des so erhaltenen Resultates nöthig.

Zu § 33.

Bezeichnet v den kubischen Inhalt des Ballons, q das Gewicht der Hülle und des Ballastes, l das absolute Gewicht der Kubikeinheit atmosphärischer Luft an dem Orte des Ballons, und s das specifische Gewicht der den Ballon füllenden Luft in Bezug auf die atmosphärische Luft, in der sich der Ballon gerade befindet, endlich p die Steigkraft des Ballons, so ist $p = vl - vls - q$. Ist der Ballon zunächst nicht ganz gefüllt, so wird er sich noch entsprechend ausdehnen können, folglich die Dichtigkeit der äußeren und inneren Luft in gleichem Verhältnisse abnehmen, also s unverändert bleiben; da ferner das Gewicht der inneren Luft vls ebenfalls unverändert bleiben muß, so wird zwar v größer werden, aber in demselben Maße l abnehmen, so daß vl und demnach auch p dasselbe bleibt. Erreicht der Ballon eine Höhe, in der er sich nicht mehr ausdehnen kann, so daß von jetzt ab v unverändert bleibt, so wird zwar l abnehmen, da aber vls dasselbe bleiben muß, s in demselben Maße wachsen; vl und p werden aber abnehmen. Läßt man jetzt eine entsprechende Quantität der innern Luft heraus, so daß s seinen ursprünglichen Werth erhält, so wächst zwar p, erlangt aber, da l kleiner geworden ist, nicht den ursprünglichen Werth und nimmt überhaupt mit dem weiteren Steigen des Ballons ab, bis $vl(1 - s) - q = 0$ ist, ein Werth, der erreicht werden muß, weil, während die übrigen Größen v, s, q unverändert bleiben, l beliebig abnehmen wird. Bezeichnen wir den besonderen Werth von l an diesem Orte mit l', so ist $l' = \frac{q}{v(1 - s)}$. Entweicht jetzt Luft aus dem Ballon oder wird sie absichtlich herausgelassen, so muß sich s vermindern, aber in entsprechendem Grade wird sogleich der Ballon zusammengedrückt und v verkleinert werden, bis s seinen eigentlichen Werth erhält, p wird also negativ werden, d. h. der Ballon wird sinken. — Um die Höhe zu bestimmen, zu welcher der Ballon steigen kann, bedenke man, daß, wenn b und b' die Barometerstände unten

und oben in Par. Lin. bezeichnen, $\frac{l}{l'} = \frac{b}{b'}$ und daß nach § 26. Anh. (3.) $n = (\log. b - \log. b') \; 60000 \; F. = (\log. l - \log. l') \; 60000 = (\log. l - \log. q + \log. v + \log. (1 - s)) \; 60000 \; F.$ ist, worin $v = \frac{d^3 \pi}{6}$ gesetzt werden kann, wenn d den Durchmesser des kugelförmigen Ballons bezeichnet.

Zu § 39.

Die Quantität des Sauerstoffes, welche sich mit ein und demselben Radikal verbindet, kann verschieden sein. Man unterscheidet a. Suboxyde, b. Oxydule und Oxyde, wobei die Oxydule wieder eine geringere Menge Sauerstoff, als die Oxyde enthalten, c. Superoxyde. Ebenso unter den Säuren a. eine untere Stufe, z. B. die schweflige Säure, b. eine mittlere Stufe, z. B. Schwefelsäure, c. eine höhere Stufe. Die mittleren Stufen sind die stärksten Verbindungen, die unteren nehmen begierig noch mehr Sauerstoff auf, die oberen dagegen geben leicht den übermäßigen Sauerstoff ab. Ebenso verhält es sich mit denjenigen Stoffen, welche, wie Schwefel, Chlor, in gewissen Verbindungen an die Stelle des Sauerstoffes treten.

Als Hauptgesetz der chemischen Verbindungen gilt, daß sich die Körper nur in ganz bestimmten Gewichtsverhältnissen verbinden, so daß der Ueberschuß auf der einen Seite unverändert bleibt. Dieses Gewichtsverhältniß bezieht sich aber nicht blos auf eine Verbindung, sondern auch für jede andere Verbindung desselben Körpers gelten dieselben Verhältnißzahlen oder ein kleines Vielfache derselben. So geben 1250 Ge. Queckſilber mit 200 Ge. Schwefel 1450 Ge. Zinnober; hätte man 1300 Ge. Queckſilber genommen, so würde man auch nur 1450 Ge. Zinnober erhalten haben und 50 Ge. Queckſilber wären unverändert geblieben. Nun geben aber auch 350 Ge. Eisen mit 200 Ge. Schwefel 550 Ge. Schwefeleisen, und 350 Ge. Eisen mit 100 Ge. Sauerstoff 450 Ge. Eisenoxydul und 1250 Ge. Queckſilber mit 100 Ge. Sauerstoff Queckſilberoxyd. Dagegen geben 200 Ge. Schwefel mit 3 . 100 Ge. Sauerstoff 500 Ge. Schwefelsäure, und so verbinden sich wieder 500 Ge. Schwefelsäure mit 450 Ge. Eisenoxydul zu 950 Ge. Eisenvitriol, wobei das festgehaltene Wasser unberücksichtigt ist. Dagegen geben 2 . 350 Ge. Eisen und 3 . 100 Ge. Sauerstoff 1000 Ge. Eisenoxyd, und diese geben mit 3 . 500 Ge. Schwefelsäure schwefelsaures Eisenoxyd. — Eine solche Verhältnißzahl, die nun selbst oder deren Vielfache in allen Verbindungen eines und desselben Körpers wiederkehren, heißt das Mischungsgewicht dieses Körpers, also ist das des Queckſilbers 1250, des Schwefels 200, des Sauerstoffes 100, der Schwefelsäure 500 ꝛc. Denkt man sich nun z. B. Zinnober so zusammengesetzt, daß in den kleinsten Theilen desselben, welche man Atome nennt, immer 1 Atom Queckſilber mit 1 Atom Schwefel sich zu 1 Atom Zinnober verbindet, so wird auch diesen kleinsten Theilchen dasselbe Gewichtsverhältniß zukommen, d. h. es wird sich 1 Atom Queckſilber zu 1 Atom Schwefel dem Gewichte nach verhalten, wie 1250 : 200. Daher nennt man jene Zahlen auch Atomengewichte. Die einfachsten Verbindungen sind nun diejenigen, bei denen man

sich 1 Atom des einen Körpers mit 1 Atom des andern verbunden denkt, wie bei dem Zinnober, Eisenoxydul u. a.; aber ebenso gut kommen auch je 2, 3, 4, 5 At. des einen mit 1 oder 2 At. des andern vor, z. B. bei der Schwefelsäure, dem Eisenoxyd. Es finden noch weitere einfache Zahlengesetze Statt, die aber hier übergangen werden müssen. Indem man nun die Atomgewichte der Körper mit den Anfangsbuchstaben ihrer lateinischen Namen und die mehrfachen Atome durch rechts hinzugefügte Zahlen bezeichnet, hat man ein sehr einfaches Mittel, die verschiedenen Verbindungen kurz anzugeben. Einige der bereits erwähnten oder noch zu nennenden Verbindungen sollen in dieser Bezeichnung hier aufgeführt werden. Wasser = HO, d. h. 1 At. Wasserstoff (Hydrogenium) und 1 At. Sauerstoff (Oxygenium), Queckſilberoxyd = HgO (Hydrargyrum), Eisenoxydul = FeO (Ferrum), Zinkoxyd = ZnO (Zincum), Kali = KO (Kalium), Natron = NaO (Natrium), Ammoniak = NH^3, d. h. 1 At. Stickstoff (Nitrogenium) und 3 At. Wasserstoff, Kalkerde = CaO (Calcium), Schwefelwasserstoff = HS (Sulphur), Salzsäure = HCl (Chlorum), Kohlenwasserstoffgas = HC (Carbo), Kochsalz = NaCl, Thonerde = Al^2O^3, d. h. 2 At. Aluminium und 3 At. Sauerstoff, schweflige Säure = SO^2, Schwefelsäure = SO^3, Salpetersäure = NO^5 in Verbindungen, und für sich bestehend $NO^5 + HO$, weil es dann noch mit 1 Atom Wasser verbunden ist; Salpeter = KO,NO^5, Soda = $NaO,CO^2 + 10HO$, d. h. kohlensaures Natron, welches noch 10 At. Wasser enthält, Weingeist = $C^4H^6O^2$, Zucker = $C^6H^6O^6$, Essigsäure = $C^4H^3O^3$. Die Mischungsgewichte der üblichsten Elemente, für welche wir der Kürze wegen die bereits erklärten Buchstaben anwenden, sind:

O=100	K=490	P (Phosphorus) =400	Pb (Plumbum, Blei)=1295
H=12,5	Na=290	Mg(Magnesium)=155	Ni (Niccolùm, Nickel)=370
C=75	Ca=250	Si (Silicium) = 277	Cu(Cuprum, Kupfer)=396
S=200	Al=171	Mn(Manganum)=345	Hg (Hydrargyrum, =1250 Queckſilber)
Cl=443	Zn=407	Sb (Stibium, =1613 Antimon)	Ag(Argentum, Silber)=1350
N=175	Fe=350	Sn(Stannum, =735 Zinn)	Au(Aurum, Gold) =2458

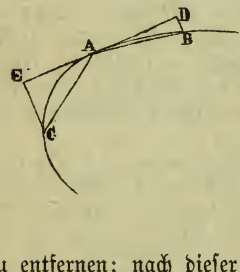
— Hat man nun p Ge. Zinkoxyd, so ist darin $\frac{Zn \cdot p}{Zn + O} = \frac{407}{507}$ p Ge. Zink und $\frac{O \cdot p}{Zn + O} = \frac{100}{507}$ p Ge. Sauerstoff; aus p Ge. Queckſilber kann p $\frac{(Hg + O)}{Hg} = \frac{27}{25}$ p Ge. Queckſilberoxyd werden, wenn dasselbe sich mit $\frac{pO}{Hg} = \frac{2}{25}$ p Ge. Sauerstoff verbindet.

Zu § 53 und 54.

Wird eine freischwebende Magnetnadel in Schwingungen versetzt und macht in 1 Ze. s Schwingungen, so wird dies durch die anziehende Kraft des Erdmagnetismus m veranlaßt; wird dagegen in der Richtung der Nadel ein andrer Magnet gehalten und macht die

Nadel jetzt in 1. Ze. s' Schwingungen, so wirken jetzt der Erdmagnetismus und der Magnet zusammen, die Wirkung des letzteren sei m'. Nun gilt aber das Gesetz (4.) des § 6. Anh., nicht blos für das Pendel, sondern für alle Schwingungen, also ist $m : m + m' = s^2 : s'^2$, oder $m : m' = s^2 : s'^2 - s^2$. Verfährt man ebenso mit einem zweiten Magneten, und bezeichnet dessen Wirkung mit m'', so ist $m : m'' = s^2 : s''^2 - s^2$, also auch $m' : m'' = s'^2 - s^2 : s''^2 - s^2$. Coulomb fand $s = 15$ in 1 Min.; als ein Magnet in der Entfernung von 4 Zoll der Nadel genähert wurde, $s' = 41$; als er denselben Magneten auf 8 Zoll entfernte, $s'' = 24$, folglich war $m' : m'' = 41^2 - 15^2 : 24^2 - 15^2$, beinahe wie 4 : 1, während die Entfernungen = 1 : 2 waren. Ueberhaupt gilt, die magnetische Anziehung nimmt ab, wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen. — Bezeichnet man also die magnetische Kraft zweier Magnete mit i, i' (intensitas), ihre Entfernungen mit d und d', und die in dieser Entfernung ausgeübten Anziehungen mit a und a', so ist $a : a' = \frac{i}{d^2} : \frac{i'}{d'^2}$ (1). Dasselbe Gesetz und dieselbe Formel gilt auch für die Elektricität.

Fig. 193.



Zu § 56. Anm.

Ist der Punkt A Fig. 193. von den beiden Punkten B und C der gekrümmten Fläche BAC in gerader Linie gleichweit entfernt, so werden, wenn wir uns zunächst die Elektricität auf der Oberfläche gleichmäßig vertheilt denken, die Elektricitäten in B und C auf A gleiche Wirkungen ausüben. Diese können daher durch die gleichen Linien AB und AC bezeichnet werden. Beide suchen aber die Elektricität in A in der Richtung der Tangente zu entfernen; nach dieser Richtung müssen daher die Kräfte AB und AC zerlegt werden, und man erhält als wirksame Kräfte in dieser Richtung AD und AE. Ist nun die Krümmung AB geringer, als die AC, so ist auch $BD < CE$, folglich $AD > AE$, folglich wird die Elektricität in A von B aus stärker fortgetrieben, als von C. Hieraus ergiebt sich, daß die Elektricität sich jederzeit nach dem Orte der stärkeren Krümmung hinziehen muß.

Zu § 60. Anm.

Der Engländer Wheatstone hat die Geschwindigkeit der Elektricität auf folgende Art bestimmt. Auf einem Bret waren in einer $3\frac{1}{3}$ Zoll langen, geraden Linie sechs isolirte Metallkugeln angebracht. Die 1. und 3., sowie die 4. und 6. waren unter sich durch 2 Drähte verbunden, deren jeder $\frac{1}{4}$ engliche, also etwa $\frac{1}{76}$ deutsche Meile betrug. Die 2. und 5. Kugel dagegen standen mit der äußeren und inneren Belegung einer Leydener Flasche in Verbindung, und zwar waren die 1. und 2., die 3. und 4., die 5. und 6. Kugel, jede nur $\frac{1}{10}$ Zoll von der anderen entfernt. Die Elektricität der äußern Belegung sprang also von 2 nach 1 über, ging von hier durch den Draht

nach 3, sprang von 3 nach 4 über, ging durch den Draht von 4 nach 6 und sprang von 6 nach 5 zur inneren Belegung über. Es mußten also zwischen 1 und 2, 3 und 4, 5 und 6, 3 Funken sichtbar werden. Zehn Fuß davon stand ein vorn und hinten belegter Spiegel, der sich um eine wagerechte Achse, die der die Kugeln verbindenden Linie parallel war, 800 mal in 1 Sek. drehte. Indem sich der Spiegel dreht, dreht sich auch des Bild in demselben, und beschreibt nach § 81. Anh. einen doppelt so großen Bogen, als der Spiegel. Dauerte daher ein Funke so lange, als eine halbe Umdrehung des Spiegels, so würde das Bild einen vollständigen Kreis im Spiegel beschreiben; dauerte umgekehrt der Funke nur einen Augenblick, so könnte sein Bild auch nur ein leuchtender Punkt sein, an der Stelle, die der in dem Augenblicke erreichten Lage des Spiegels entsprechen müßte. Entständen ferner die drei Funken zu gleicher Zeit, so müßten sie sämmtlich in gerader Linie liegen. Man beobachtete aber, daß sämmtliche Funken etwas in die Länge gezogen waren, bis auf 24°, woraus sich ergab, daß das Ausströmen der Elektricität zwar bei weitem nicht die Dauer einer halben Umdrehung des Spiegels hatte, aber doch einen kleinen Zeitraum währte. Ferner lagen die beiden äußersten Funken zwar in einer der Achse parallelen Linie, aber der mittelste war in der Richtung des sich drehenden Spiegels um $\frac{1}{2}$° verrückt. Der Spiegel hatte sich daher nur um $\frac{1}{4}$° gedreht, oder um $\frac{1}{4 \cdot 360}$ einer Umdrehung; hierzu war aber nur $\frac{1}{4 \cdot 360 \cdot 800}$ einer Sekunde an Zeit erforderlich; die Elektricität hatte also den Weg von $\frac{1}{4}$ engl. Meile in $\frac{1}{\cdot 360 \cdot 800}$ Sek. zurückgelegt, hatte also eine Geschwindigkeit von $360 \cdot 800 = 288000$ engl. oder ungefähr 62500 deutschen Meilen in 1 Sek. Zugleich zeigte sich, daß die Elektricität von beiden Belegungen zu gleicher Zeit ausging. Andre Versuche haben unter Benutzung der elektromagnetischen Telegraphen, also für den galvanischen Strom, die weit geringere Geschwindigkeit von 14—17000 Ml. in 1 Sek. ergeben.

Zu § 63.

Ist die Spannung der einen Platte x, die der andern y, jede mit dem Vorzeichen ihrer Elektricität, so gilt, daß, wie auch die Größe der Platte und die Anzahl der Berührungspunkte und die Art und Anzahl der verbindenden Metallmassen sei, $x - y = d$, was man die elektrische Differenz nennt, für dieselben Stoffe unverändert sei.

Zu § 64.

Nimmt man auf die elektrische Wirkung in den feuchten Leitern keine Rücksicht, so läßt sich die Theorie der Volta'schen Säule leicht auf folgende Weise entwickeln: Es sei die elektrische Spannung der untersten Platte x, die elektrische Differenz d, so ist die der darüber liegenden Platte $x + d$, welche durch den feuchten Leiter auch der untern Platte des folgenden Paares mitgetheilt wird, die obere Platte desselben muß dagegen eine Spannung $x + 2d$ haben und so das

dritte Paar eine Spannung $x + 2d$, $x + 3d$, das nte Paar die Spannung $x + (n - 1)\,d$, $x + nd$. Sind nun die beiden äußersten Platten isolirt, so wird der Säule von außen Elektricität weder zugeführt, noch entzogen, es muß also die Summe der Spannungen von positiver und negativer Elektricität sich ausgleichen oder gleich Null sein. Diese Summe ist aber nach dem Gesetze der arithmetischen Reihen ein Vielfaches von $2x + nd$, also muß $2x + nd = 0$ oder $x = -\frac{nd}{2}$ sein; dies ist die Spannung der untersten Platte; die der obersten dagegen ist $x + nd = \frac{nd}{2}$. In der Mitte dagegen müssen 2 Platten sein, deren Spannung Null ist. Ist dagegen die unterste Platte mit der Erde in leitender Verbindung, so muß die Spannung derselben, also $x = 0$ sein; dann ist die der obersten nd, also doppelt so groß, als wie die der äußersten Platten in dem Falle der Isolirung.

Zu § 65.

Bezeichnet e die elektrische Spannung der Kette, λ den Widerstand, welchen die Säule der Leitung entgegensetzt, l den, welchen der die Pole verbindende Leiter ausübt, so ist die elektrische Wirkung $s = \frac{e}{l + \lambda}$. Sind nun n Plattenpaare, die elektrische Wirkung eines Paares und ihr Leitungswiderstand e' und λ', so ist $s = \frac{ne'}{l + n\lambda'}$. Ist nun l klein im Vergleich zu λ, d. h. ist die Leitung zwischen den beiden Polen sehr gut und kurz, so kann man l unberücksichtigt lassen, und s bleibt unverändert $\frac{e'}{\lambda'}$ und wird daher durch n nicht vergrößert; es kommt also dann nicht auf die Anzahl der Platten an. Ist im Gegentheil l sehr groß, so daß $n\lambda$ vernachlässigt werden kann, so wächst s in gleichem Maaße mit n. — Nimmt man statt der Platten mmal so große, so wird zwar e nicht geändert, aber da durch eine mfache Platte eine mfache Elektricität ausströmen kann, so wird der Widerstand λ nur der mte Theil und also $s = \frac{e}{\frac{\lambda}{m} + l} = \frac{em}{\lambda + ml}$; die Wirkung bleibt daher ungeändert, wenn l sehr groß gegen λ ist, wächst aber in gleichem Maaße mit m, wenn λ sehr groß gegen l ist.

Zu § 68.

Man benutzt die magnetische Ablenkung, um die Stärke eines elektrischen Stromes zu messen. Zu diesem Zwecke wird der elektrische Strom durch einen größeren Ring von Kupfer geleitet, dessen Ebene mit der des magnetischen Meridians zusammenfällt. In der Mitte desselben befindet sich eine sehr kleine, freischwebende Magnetnadel. Wird diese nun durch den Strom um einen Winkel α abgelenkt, so wirkt auf die Nadel der Erdmagnetismus R in der Richtung des Meridians, der elektrische Strom S dagegen senkrecht zu dieser Kraft, und

da die Nadel in Ruhe ist, so muß nach § 3. Anh. (4.) Tang $\alpha = \frac{S}{R}$ sein. Da R für denselben Ort unverändert ist, so verhalten sich also die Kräfte der angewandten Ströme, wie die Tangenten der Ablenkungswinkel. Daher hat dieser Apparat den Namen der Tangentenbussole.

Zu § 68.

Es mögen hier noch einige Zusätze von hohem wissenschaftlichen Interesse folgen über die Erweiterungen, welche die Lehre von der Elektricität und ihres Zusammenhanges mit dem Magnetismus erfahren hat, jedoch nur in der Gestalt kurzer Sätze, welche der erklärenden Ausführung des Lehrers bedürfen.

Vom Elektromagnetismus. 1) Der Leitungsdraht eines elektrischen Stromes zieht Eisenfeilspäne an. — 2) Eine Spirale, durch welche ein elektrischer Strom geht, macht einen in ihr befindlichen Eisenkern magnetisch, und zwar weiches Eisen, so lange der Strom dauert, Stahl dagegen bleibend. — 3) Dieselbe wird bei hinreichender Beweglichkeit vom Erdmagnetismus so gerichtet, daß der positive Strom in dem unteren Theile von Osten nach Westen geht, und die Ebene derselben auf der Inklinationsnadel senkrecht steht. — Diese fast vollkommene Uebereinstimmung zwischen den Wirkungen eines Magneten und dem Leitungsdraht eines elektrischen Stromes wird noch vervollständigt durch die Gesetze über

Die gegenseitige Wirkung zweier elektrischer Ströme auf einander. — 1) Parallele gleichgerichtete Ströme ziehen sich an, parallele, aber entgegengesetzt gerichtete stoßen sich ab. Sieht man demnach einen Magneten an als umkreist von einem elektrischen Strome, der zu seiner Linken den Nordpol hat, so ergiebt sich hieraus das Gesetz der Polarität für den Magnetismus. — 2) Begegnen sich zwei elektrische Ströme, so findet zwischen denjenigen Theilen beider Ströme, welche in Bezug auf den Kreuzungspunkt gleiche Richtung haben, Anziehung, zwischen denen, welche entgegengesetzte Richtung haben, Abstoßung statt. Daraus folgt: 3) Geht ein begrenzter Strom auf einen unbegrenzten zu, so bewegt sich entweder der Leiter des ersten gegen die Richtung des letztern, oder der Leiter des letztern, in der Richtung seines Stromes. Das Umgekehrte findet statt, wenn ein begrenzter Strom sich von dem unbegrenzten entfernt. — In Folge dieser Gesetze kann der eine Pol eines Magneten um einen elektrischen Strom, 2) ein elektrischer Strom um den einen Pol eines Magneten, 3) in Folge des Erdmagnetismus, 4) in Folge eines andern elektrischen Stromes rotiren.

Magnetoelektricität. Wird in eine geschlossene Leitungsspirale ein Magnet gesteckt oder ein weicher Eisenkern in ihr magnetisch, so ist die Wirkung die eines genäherten elektrischen Stromes, es wird daher für diesen Augenblick in der Spirale ein elektrischer Strom inducirt, zu dessen Rechten der Nordpol liegt; wird der Magnet entfernt oder der Eisenkern unmagnetisch, so entsteht für diesen Augenblick ein Strom in entgegengesetzter Richtung.

Thermoelektricität. Wenn man 2 verschiedene Metallstreifen zu einem geschlossenen Rechtecke zusammenlöthet und eine der beiden Löthstellen erwärmt, so entsteht ein elektrischer Strom. Die stärkste Wirkung zeigen Wismuth und Antimon, und zwar geht der positive Strom an der warmen Stelle vom Wismuth zum Antimon. — Indem sich so elektrische Strömungen als Wirkung der Wärme erweisen, glaubt man auch in der Wärme die erste Ursache der Erscheinungen des Erdmagnetismus sehen zu müssen.

Zu § 71.

Für die gleichschwebende Temperatur sollen die Oktaven vollkommen rein, dagegen das Verhältniß e je zweier auf einander folgenden halben Töne dasselbe sein; also muß, da die Oktave von ihrem Grundtone um 12 halbe Töne entfernt ist, ihr Schwingungsverhältniß aber 1 : 2 ist, $e^{12} = 2$ oder $\log. e = \frac{1}{12} \log. 2$, oder $e = 1{,}059463$ sein.

Zu § 72.

Bezeichnen für 2 Saiten l und l' die Längen, d und d' die Dicken, p und p' die spannenden Gewichte, n und n' die Anzahl der Schwingungen in der Ze., so ist $n : n' = \frac{\sqrt{p}}{ld} : \frac{\sqrt{p'}}{l'd'}$; daraus folgt namentlich $n : n' = l' : l$ für die Verkürzung einer und derselben Saite, und dasselbe Gesetz gilt für zwei Röhren, wenn l und l' ihre Längen, n und n' die Schwingungszahlen des tiefsten zugehörigen Tones bezeichnen. (§ 73.)

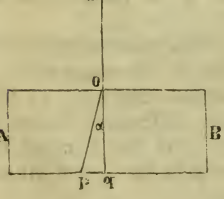
Zu § 78.

Aus der Herleitung zu Fig. 130. ergiebt sich, daß, wenn i und i' die Stärke der Beleuchtung bezeichnet, welche durch denselben leuchtenden Punkt in den Entfernungen d und d' auf parallelen Ebenen hervorgebracht wird, $i : i' = \frac{1}{d^2} : \frac{1}{d'^2}$ ist. Dieselbe Formel gilt für den Schall, wenn i und i' die Stärke des Schalles in den Entfernungen d und d' bezeichnet. (Vergl. § 7. Anh. (6.) und § 53. Anh. (1.).

Ist α der Winkel, den die Ebene BC (Fig. 131.) mit der Richtung der parallelen Strahlen macht, so verhalten sich die Mengen der auf AB und CB fallenden Strahlen $= 1 : \sin \alpha$, die Menge der Strahlen bestimmt aber die Stärke der Beleuchtung. Bezeichnet daher i und i' die Beleuchtung von AB und BC, so ist $i' = i \sin \alpha$.

Zu § 79.

Fig. 194.



Trifft den ruhenden Gegenstand AB (Fig. 194.) eine Kugel in der Richtung mo, so wird sie, wenn sie in gerader Linie fortgehen kann, den Punkt q der Gegenseite treffen, und eine Röhre in der Richtung oq gelegt, würde von ihr durchlaufen werden; bewegte sich dagegen AB unterdessen senkrecht zu mo nach rechts, so daß, während die Kugel den Weg oq zurückgelegt hätte, p an die Stelle von q ge-

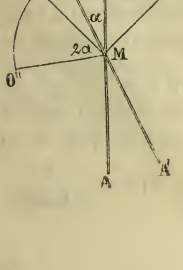
langt wäre, so würde die Röhre, damit die Kugel dieselbe ungehindert durchlaufen könnte, die Richtung oq erhalten müssen, welche mit op den Winkel α macht; der betreffende Punkt derselben würde sich nämlich jedesmal gerade zu gleicher Zeit mit der Kugel auf der Verlängerung von mo befinden; und zwar ist $\text{Tang } \alpha = \frac{pq}{op}$. Stellt nun AB die Erde vor, mo einen Lichtstrahl, oq ein Fernrohr, so wird das Fernrohr, damit der Lichtstrahl dasselbe durchlaufen kann, nicht genau nach dem Stern m, sondern, da die Erde sich bewegt, etwas nach vorwärts in der Richtung der Bewegung der Erde gerichtet sein müssen. Diese Abweichung α des gerichteten Fernrohrs von dem Lichtstrahl nennt man die Aberration der Fixsterne. Es verhält sich aber, wenn der Lichtstrahl senkrecht zur Erdbahn gerichtet ist, op : pq, wie die Geschwindigkeit des Lichtes zu der der Erde; nun ist $\alpha = 20{,}4451''$, pq = 4,12 Ml. in 1 Sek., woraus sich die Geschwindigkeit des Lichtes $op = \frac{pq}{\text{Tang } \alpha} = 41545$ Ml. ergiebt.

Zu § 80.

Ist h die Höhe eines senkrechten Gegenstandes, s die Länge des horizontalen durch die Sonne hervorgebrachten Schattens, ferner α die Höhe der Sonne, d. i. der Bogen am Himmel, um welchen sie senkrecht vom Horizont entfernt ist, oder der Winkel, den die von ihr ausgehenden Strahlen mit dem Horizonte bilden, so ist $\frac{h}{s}$ = Tang α, und für zwei vertikale Gegenstände bei derselben Sonnenhöhe, $h : h' = s : s'$. — Sind R und r die Radien einer leuchtenden und einer beleuchteten Kugel und ist $R > r$, ferner d die Entfernung ihrer Mittelpunkte, l die Länge des Kernschattens vom Mittelpunkte der beleuchteten Kugel an gerechnet, so ist $R : r = d + l : l$, also $l = \frac{dr}{R - r}$.

Zu § 81.

Fig. 195.



Dreht sich der Spiegel AB (Fig. 195.) in welchem der Gegenstand O sich in O' abbildet, um α nach A'B', so beschreibt das Bild den Bogen O'O''; dann ist $O'MO = 2OMB$, $O''MO = 2OMB'$, folglich $O''MO - O'MO$ oder $O''MO' = 2(OMB' - OMB) = 2\alpha$. Es ergiebt sich also, daß bei der Drehung eines Spiegels das Bild sich um einen doppelt so großen Winkel dreht, als der Spiegel.

Zu § 82.

Fig. 196.

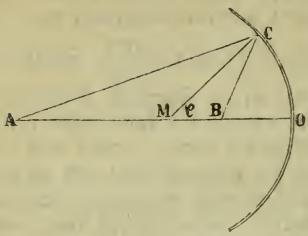
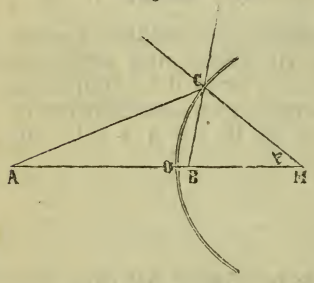


Fig. 196. Ist AC ein einfallender Strahl und MC das Einfallsloth, BC der reflectirte Strahl, so ist ACM = BCM, also bekanntlich AC : BC = AM : BM. Nun ist $AC^2 = (AM + MC)^2 - 4AM \cdot MC \cdot \sin^2\frac{\varphi}{2}$, $BC^2 = (MC-MB)^2 + 4MC \cdot MB \cdot \sin^2\frac{\varphi}{2}$. Enthält nun der Winkel φ nur wenige Grade, so ist $\sin\frac{\varphi}{2}$ fast Null, und man kann AC = AM + MC = AO, BC = MO − MB = BO setzen und erhält also AO : BO = AM : BM. Bezeichnet man nun AO und BO, nemlich die Entfernungen des Gegenstandes und des Bildes vom Spiegel, mit a und α und den Halbmesser mit r, so ist $a : \alpha = a - r : r - \alpha$, folglich $a(r - \alpha) = \alpha(a - r)$ oder $2a\alpha = ar + \alpha r$ oder $\frac{2}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ (1.). — Auf dieselbe Weise ist in Fig. 197. AC : BC = AM : BM, $AC^2 = (AM - CM)^2 + 4AM \cdot CM \cdot \sin^2\frac{\varphi}{2}$, $BC^2 = (MC - MB)^2 + 4BM \cdot CM \sin^2\frac{\varphi}{2}$, folglich für ein kleines φ, AC = AO, BC = BO, AO : BO = AM : BM, $a : \alpha = a + r : r - \alpha$, und daraus $\frac{2}{r} = \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{a}$ (2.). Setzt man nun OA, welches die entgegengesetzte Richtung von OM hat, während es in Fig. 196. mit OM nach derselben Richtung ging, negativ, so fällt die Formel (2.) mit (1.) zusammen. Da dann diese Formel in Bezug auf a und α vollkommen symmetrisch ist, so sieht man, daß die Formel (1.) auch gilt, wenn man in Fig. 196. und 197. B als Gegenstand und A als Bild ansieht. Wenn man also stets die Richtung vom optischen nach dem geometrischen Mittelpunkte für Gegenstand und Bild als die positive ansieht, so gilt (1.) für beide Arten sphärischer Spiegel und für sämmtliche Lagen des Gegenstandes. Liegt im besondern Falle A im Unendlichen, so wird MBC gleichschenklig und dann $MB = \frac{r}{2\cos\varphi}$.

Fig. 197.



Ist nun C ein Punkt des äußersten Randes des Spiegels und ψ der zugehörige Centriwinkel, so schneiden sämmtliche parallel auf den Spiegel fallende Strahlen nach der Spiegelung die Achse auf einer Strecke $\frac{r}{2\,\mathrm{Cos}\,\psi} - \frac{r}{2} = \frac{r\,\mathrm{Sin}^2\frac{\psi}{2}}{\mathrm{Cos}\,\psi}$, welche für ein kleines ψ sehr wenig von Null verschieden ist. Der Winkel 2ψ giebt den sphärischen Durchmesser des Spiegels in Graden an und heißt die Apertur des Spiegels. — Diese Entfernung, die Brennweite, sei p, dann ist $\frac{1}{p} = \frac{2}{r}$, also allgemein $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ (3.), d. h. die umgekehrte Brennweite ist gleich der Summe aus den umgekehrten Werthen der Entfernungen des Gegenstandes und des Bildes vom Spiegel. Ist $a \lessgtr \infty_r$, so findet man durch ähnliche Schlüsse $\alpha \gtrless p_r$; für $a = r$, $\alpha = r$; für $a \lessgtr r_p$, $a \gtrless r_\infty$; für $a = p$, $r = \infty$; für $a < p$, wird $\alpha > a$, ist aber negativ, das Bild liegt also hinter dem Spiegel. — Ist a negativ, also der Spiegel convex, so muß $\frac{1}{\alpha} > \frac{1}{p}$, also stets positiv und auch $> -\frac{1}{a}$, also $\alpha < p$ und $<$ als der absolute Werth von α sein. — Aus Fig. 139 u. 140. ist ferner klar, daß, wenn man die Länge von Gegenstand und Bild mit b und β bezeichnet, sich diese wie ihre Entfernungen vom geometrischen Mittelpunkte M verhalten; diese sind aber in allen Fällen den absoluten Werthen von $a - r$ und $r - \alpha$ gleich, also ist $b : \beta = a - r : r - \alpha = a : \alpha$ (4.), d. h. die Größe des Gegenstandes verhält sich zu der des Bildes, wie ihre Entfernungen vom Spiegel. Setzt man für α seinen Werth, so erhält man $b : \beta = a - p : p$ (5.), worin $a - p$ die Entfernung des Gegenstandes vom Brennpunkte bezeichnet.

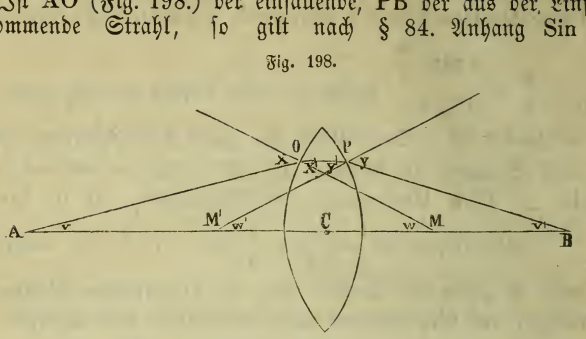
Zu § 84.

Fig. 145. Ist α' der Einfallswinkel b'oe', α der Brechungswinkel boe, so ist $e'b' = \mathrm{Sin}\,\alpha'$, $eb = \mathrm{Sin}\,\alpha$, also $\frac{\mathrm{Sin}\,\alpha}{\mathrm{Sin}\,\alpha'}$ für jede zwei zusammengehörige α unveränderlich. Diesen Werth bezeichnet man mit n, er heißt der Brechungsexponent. Ist β der Grenzwinkel so muß, weil dann $\alpha' = 90°$ ist, $\mathrm{Sin}\,\beta = n$ sein.

Zu § 86.

Ist AO (Fig. 198.) der einfallende, PB der aus der Linse herauskommende Strahl, so gilt nach § 84. Anhang Sin x =

Fig. 198.



n . Sin x', Sin y = n . Sin y'; ferner ist x = v + w, y = v' + w', und x' + y' = w + w'. Setzt man ferner AC = a, BC = α, MC = r, M'C = r', indem man die Dicke der Linse nicht berücksichtigt, nimmt ferner die Lothe von O und P auf AB einandergleich an, und bezeichnet sie mit h, so ist Tang v = $\frac{h}{a}$, Tang v' = $\frac{h}{\alpha}$, Tang w = $\frac{h}{r}$, Tang w' = $\frac{h}{r'}$. Da aber sämmtliche Winkel sehr klein sind, so können statt der Sin. und Tang. die Winkel selbst gesetzt werden, und man erhält alsdann w + w' = x' + y' = $\frac{x}{n} + \frac{y}{n} = \frac{1}{n}$ (v + w + v' + w') also (w + w') $\left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{1}{n}$ (v + v'), oder $\left(\frac{h}{r} + \frac{h}{r'}\right)\left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{1}{n}\left(\frac{h}{a} + \frac{h}{\alpha}\right)$ oder (n − 1) $\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{a}$. — Die Ableitung ändert sich wenig, wenn der Punkt A so nahe liegt, daß der gebrochene Strahl mit der Achse divergirt und die Achse daher nur scheinbar und zwar auf derselben Seite schneidet, wo A liegt. Man erhält dann (n − 1) $\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right) = \frac{1}{a} - \frac{1}{\alpha}$. In ähnlicher Weise ergiebt sich für Hohlgläser, für welche B ebenfalls mit A auf derselben Seite liegt, (n − 1) $\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right) = -\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$. Indem nun zu AC oder a die Vorderfläche der Linse gehört, deren Mittelpunkt M ist, und zu BC oder α die Hinterfläche mit dem Mittelpunkte M', so hat man im Gegensatz zu den Hohlspiegeln hier AC und BC im ersten Falle positiv genommen, wenn sie die Richtung vom optischen nach dem zugehörigen geometrischen Mittel-

punkte haben; bestimmt man die entgegengesetzte Richtung durch das negative Vorzeichen, so ist im 2ten Falle α, im 3ten a negativ zu setzen, und es genügt, wenn man die Vorzeichen beachtet, die erste Formel für alle Fälle. Setzt man $a = \infty$, so erhält man $\frac{1}{\alpha} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$, wo α die Brenn- oder Zerstreuungsweite bezeichnet. Setzt man daher $\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)$ (1.), so werden jene Formeln zu $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ (2.) und $\frac{1}{p} = \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{a}$ (3.). Es ist offenbar, daß sich aus diesen Formeln, die mit (3.) u. (4.) des § 82. Anh. vollkommen identisch sind, auch dieselben Folgerungen herleiten lassen. Namentlich ergiebt sich auch $b : \beta = a : \alpha = a - p : p$ (4.). Für Glas und Luft ist $n = \frac{3}{2}$, also $p = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$; ist nun $r = r'$, so wird $p = \frac{1}{r}$; für $r' = \infty$, erhält man $p = \frac{1}{2r}$.

Zu § 87.

Durch eine Lupe soll der Gegenstand in die deutliche Sehweite d gerückt werden. Bezeichnen wieder b und β die linearen Größen des Gegenstandes und des Bildes und giebt m an, wie viel mal so groß β als b ist, so ist $m = \frac{\beta}{b}$. Nun ist aber $b : \beta = p : \alpha - p$. Es soll aber $\alpha = -d$ sein, also ist $m = -\frac{d+p}{p} = -\left(\frac{d}{p} + 1\right)$. Gewöhnlich setzt man $m = \frac{d}{p}$ und d als die deutliche Sehweite eines gesunden Auges $= 10''$. Ist aber $\frac{d}{p}$ die lineare Vergrößerung, so ist die Flächenvergrößerung natürlich $m^2 = \left(\frac{d}{p}\right)^2$. — Sind für das zusammengesetzte Mikroskop die durch das Objektiv und das Okular einzeln hervorgebrachten Vergrößerungen m' und m'', so ist die Gesammtvergrößerung $m = m' \cdot m''$. — Mittelst des astronomischen Fernrohres (Fig. 156.), für welches natürlich nur von der scheinbaren Vergrößerung die Rede sein kann, erscheint das sehr weit entfernte Gestirn, welches ohne Fernrohr dem Auge unter dem Winkel mom oder non erscheinen würde, unter dem Winkel po'p oder no'n, und da nn um die Brennweiten p und p' von beiden Linsen entfernt ist, so ist $\text{Tang}\frac{non}{2} = \frac{nn}{2p}$, $\text{Tang}\frac{no'n}{2} = \frac{nn}{2p'}$, also $\frac{\text{Tang}\frac{no'n}{2}}{\text{Tang}\frac{non}{2}} = \frac{p}{p'}$, oder wegen der sehr kleinen

Winkel $\frac{no'n}{non} = \frac{p}{p'}$, d. h. die Vergrößerung findet man, wenn man mit der Brennweite des Okulars in die des Objektivs dividirt. — Ebenso sind für das Galileische Fernrohr (Fig. 160.), die beiden Sehwinkel non und no'n, die selbst oder genau genommen deren Tangenten sich, wie die Brennweiten des Okulars und des Objektivs verhalten.

Zu § 90.

Fig. 199.

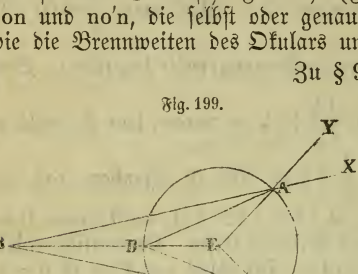


Fig. 199. Ist XAB die Richtung des auf den Regentropfen fallenden Strahles und BCZ die des aus demselben austretenden, so ist ABC $= 2\psi$ die Ablenkung, XAY $=$ EAB der Einfallswinkel α, EAD der Brechungswinkel β und EAD $=$ EDA $=$ EDC $=$ ECD, also auch ECB $=$ EAB $= \alpha$. Nun ist AEC $= \alpha + \psi = 2\beta$, also $\psi = 2\beta - \alpha$, und Sin $\alpha = n$ Sin β, wo $n = 1{,}33$ für rothe, $= 1{,}34$ für violette Strahlen gilt. Setzt man nun für α die Werthe von 58. — 60° und berechnet für die rothen Strahlen β und ψ, so findet man, daß alle Strahlen, die diese etwa um 2° verschiedenen Einfallswinkel bilden, nach der Brechung nur um etwa 4′ differiren, und daß diese Differenz in der Nähe von 59° verschwindend klein ist, wozu $\Psi = 42° 32'$ gehört. — Aehnlich findet man bei gleicher Bezeichnung für den Nebenregenbogen $\psi' = 3\beta' - \alpha'$. — Direkt, wenn auch schwieriger läßt sich Ψ durch folgende Betrachtung finden. Läßt man nemlich α von 0° — 90° wachsen, so wird auch β fortwährend wachsen, ψ dagegen wird nur bis zu einem bestimmten Winkel Ψ zunehmen, und für größere Werthe von α wieder abnehmen, und zwar wird in der Nähe dieses Winkels Ψ sich der Werth von ψ wenig ändern. Die zu Ψ gehörigen Werthe von α und β seien A und B; dann werden zu einem Winkel ψ, der kleiner als Ψ ist, je zwei Winkel α_1 und α_2 gehören, von denen der eine größer, der andere kleiner als A ist. Sind die dazu gehörigen Brechungswinkel β_1 und β_2, so gelten die Gleichungen: $\psi = 2\beta_1 - \alpha_1$, $\psi = 2\beta_2 - \alpha_2$, Sin $\alpha_1 = n$ Sin β_1, Sin $\alpha_2 =$ n Sin β_2; folglich $2(\beta_1 - \beta_2) = \alpha_1 - \alpha_2$, $\frac{\text{Sin}\,\alpha_1}{\text{Sin}\,\alpha_2} = \frac{\text{Sin}\,\beta_1}{\text{Sin}\,\beta_2}$, und daher Tang $\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$. Tang $\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$ = Tang $\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$. Tang $\frac{\beta_1 - \beta_2}{2}$, oder Tang $(\beta_1 - \beta_2)$. Tang $\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$ = Tang $\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$. Tang $\frac{\beta_1 - \beta_2}{2}$, oder $\frac{2 \text{ . Tang } \frac{\beta^1 - \beta^2}{2}}{1 - \text{Tang}^2 \frac{\beta_1 - \beta_2}{2}}$. Tang $\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$ = Tang $\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$

. Tang $\frac{\beta_1 - \beta_2}{2}$, also $\frac{2 \text{ . Tang } \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}}{1 - \text{Tang}^2 \frac{\beta_1 - \beta_2}{2}} = \text{Tang } \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$, eine

Gleichung, durch welche je zwei Winkel α_1 und α_2, welche daſſelbe ψ ergeben, verbunden werden. Für Ψ müſſen nun α_1 und α_2 zuſammenfallen und $= A$ werden, und ebenſo $\beta_1 = \beta_2 = B$; man erhält alſo dann $2 \text{ Tang } B = \text{Tang } A$, oder wenn man die Sinus einführt und $\text{Sin } A = n \text{ Sin } B$ beachtet, $\frac{2 \text{ Sin A}}{\sqrt{n^2 - \text{Sin}^2 A}} = \frac{\text{Sin A}}{\sqrt{1 - \text{Sin}^2 A}}$, woraus $\text{Sin}^2 A = \frac{4 - n^2}{3}$, $\text{Cos}^2 A = \frac{n^2 - 1}{3}$ folgt.

Zu § 94.

Hat ein Körper bei 0° die Länge l_0, bei 1° die Länge l_1, ſo iſt $\frac{l_1 - l_0}{l_0}$ der Ausdehnungscoefficient $= \alpha$; iſt l ſeine Länge bei t°, ſo iſt $l = l_0 (1 + \alpha t)$ (1.). Wäre K_0 ſein kubiſcher Inhalt bei 0°, ſo wäre derſelbe bei t°, $K = K_0 (1 + \alpha t)^3 = K_0 (1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3)$, wofür man, weil αt ſehr klein iſt, zu ſetzen pflegt $K = K_0 (1 + 3\alpha t)$ (2.). — Für die Luftarten iſt der gemeinſchaftliche körperliche Ausdehnungscoefficient etwas größer, als $\frac{1}{300}$ und für die atmoſphäriſche Luft genauer 0,003665 für 1° C. oder 0,004581 für 1° R, alſo etwas kleiner als $\frac{1}{200}$. Iſt alſo v_0 das Volumen einer Luftmenge bei 0°, v das Volumen derſelben bei t°, und bezeichnet man den Ausdehnungscoefficienten wieder mit α, ſo iſt $v = v_0 (1 + \alpha t)$ (3.). — Sind v und v' die Volumina derſelben Luftmenge bei den Temperaturen t und t' und den Barometerſtänden b und b', ſo würden ſich dieſelben, wenn $b = b'$ wäre, $= 1 + \alpha t : 1 + \alpha t'$ verhalten; wäre aber $t = t'$, ſo würden ſie nach § 27 Anhang (1.) ſich $= b' : b$ verhalten; folglich iſt $v : v' = \frac{1 + \alpha t}{b} : \frac{1 + \alpha t'}{b'}$ (4.). Iſt nun $v = v'$, ſo muß $b : b' = 1 + \alpha t : 1 + \alpha t'$ (5.) ſein. — Das Gewicht eines Kubf. Luft ſei bei 0° und einem Luftdrucke von 28″ p, ungefähr = 2,4 Loth Neugewicht. Iſt nun der Barometerſtand b Zoll, ſo wird ſein Gewicht $\frac{b}{28}$ p ſein; iſt ferner die Temperatur t°, ſo wird das Volumen mit $(1 + \alpha t)$ vervielfacht, alſo iſt die Dichtigkeit $\frac{1}{1 + \alpha t}$ der vorhergehenden, und daher ergiebt ſich das Gewicht eines Kubf. Luft bei der Temperatur t und dem Barometerſtand b, $\frac{b}{28} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t}$ p.

Wegen der Ausdehnung des Queckſilbers iſt bei einer Angabe des Barometerſtandes, für welche große Genauigkeit verlangt wird, ſtets die Temperatur zu berückſichtigen. Da nun der Ausdehnungs-

coefficient des Queckſilbers auf 1° R. $\frac{1}{4440}$ beträgt, ſo iſt, wenn b der beobachtete Barometerſtand iſt, derjenige, den das Barometer bei 0° zeigen würde, $= b'' : \left(1 + \frac{t}{4440}\right)$.

Zu § 95.

Sind r, c und f die Anzahl der Reaumurſchen, Celſiusſchen und Fahrenheitſchen Grade, ſo iſt bei gleicher Temperatur r:c:f — 32 = 4:5:9.

Zu § 98. Anm.

Sind m und m' die Maſſen zweier gleichartiger Körper, deren Temperaturen t und t' ſind, und t_0 die Temperatur der Miſchung, ſo iſt $t_0 = \frac{mt + m't'}{m + m'}$. (1.). Dies iſt die Richmannſche Regel. — Sind nun m und m' die Maſſen zweier ungleichartiger Körper, w und w' ihre ſpecifiſche Wärme, t und t' ihre Temperaturen, t_0 die der Miſchung, ſo iſt $wmt + w'm't' = (wm + w'm')t_0$. Iſt der eine Körper Waſſer, alſo w = 1, ſo iſt $w' = \frac{m(t_0 - t)}{m'(t' - t_0)}$. (2.).

Zu § 99.

Um die ſpecifiſche Wärme eines Körpers zu finden, unterſucht man in einem beſonders dazu eingerichteten Inſtrumente, dem Calorimeter, wie viel Eis der Körper zu ſchmelzen vermag, bis er ſelbſt auf 0° erkaltet iſt. Nun iſt 1 Pfd. Waſſer von 79,25° C. oder 63,4° R. hinreichend, um mit 1 Pfd. Schnee von 0° gemiſcht 2 Pfd. Waſſer von 0° zu geben. Alſo iſt 79,25 oder 63,4 die latente Wärme des Waſſers. Iſt nun m die Maſſe, w die ſpecifiſche Wärme, t die Temperatur des zu unterſuchenden Körpers, p das Gewicht des durch ihn geſchmolzenen Waſſers, ſo iſt die von dem Körper entwickelte Wärme, nachdem er bis auf 0° erkaltet iſt, mwt, die zur Schmelzung des Eiſes erforderliche Wärme pv, wo v die latente Wärme des Waſſers bezeichnet; folglich iſt mwt = pv, und $w = \frac{pv}{mt}$. — Um 1 Pfd. Waſſer von 80° R. in Dampf derſelben Temperatur zu verwandeln, iſt ſoviel Hitze erforderlich, als nöthig iſt, um 5½ Pfd. Waſſer von 0° bis auf 80° zu erhöhen, alſo iſt die latente Wärme des Waſſerdampfes = 5½ . 80 = 440, für die 100theilige Skala dagegen 550.

Zu § 102.

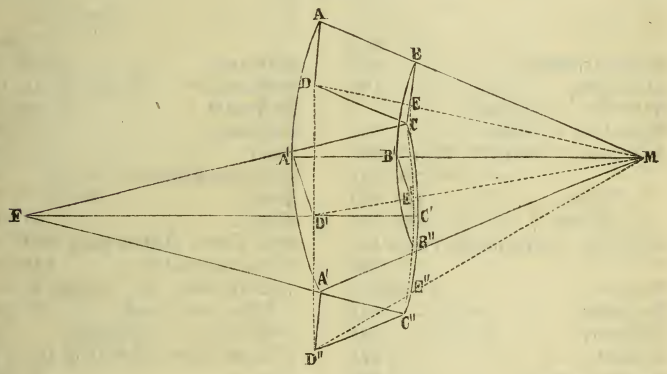
Die Dichtigkeit des Waſſerdampfes beträgt $\frac{5}{8}$ von der der atmoſphäriſchen Luft bei gleicher Temperatur und Expanſivkraft; die der Luft iſt aber bei 0° und einem Luftdruck von 336‴, $\frac{1}{770}$ von der des Waſſers. Beſitzt nun der Waſſerdampf nur eine Expanſivkraft von e‴ und die Temperatur t, ſo findet man auf ähnliche Weiſe, wie § 94 Anhang (4.), die Dichtigkeit der Luft und daraus die des

Wasserdampfes $= \frac{5}{8} \cdot \frac{1}{770} \cdot \frac{e}{336} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}$. Verwandelt sich also 1 Kubf. Wasser von 0° in Dämpfe von t°, die eine Expansivkraft von e Linien haben, und bezeichnet v den Raum, den dieselben einnehmen, so ist $v = \frac{8}{5} \cdot \frac{336}{e} \cdot 770\,(1+\alpha t)$ Kubf., wobei e natürlich nicht größer sein darf, als die Spannkraft, welche Dämpfe von t° überhaupt erreichen können.

Zu § 104.

Fig. 200. Die Construction des verschiebbaren Parallelogrammes läßt sich leicht begreifen. Es sei $AB = \frac{1}{n}$ des ganzen Hebelarmes

Fig. 200.



AM; dann muß $CE = \frac{1}{n}$ BC sein. Liegen nun zunächst D, D', D'' in einer vertikalen Linie, so ist klar, daß A'M : B'M = D'M : E'M = n : n − 1 ist; da nun auch AM : BM = n : n − 1, so ist AD' ∥ BE', und ebenso AD'' ∥ BE'', also liegen auch E, E', E'' in einer Vertikalen. Sind also AM, AB, AD bestimmt und für die äußerste und mittlere Lage das Parallelogramm so gezeichnet, daß D, D' und D'' in einer Vertikalen liegen, so ist dadurch auch die Lage von C, C', C'' bestimmt. Sucht man nun den Mittelpunkt F des Kreises, der durch die 3 Punkte C, C', C'' geht, so ist dies der feste Punkt, um welchen der Punkt C einen Kreisbogen beschreibt, wodurch dann die verlangte Lage der Punkte D und E bewirkt wird.

Register.

Bem. Gewöhnlich giebt die erste Zahl unter mehreren die Stelle an, an welcher über den betreffenden Gegenstand ausführlich gesprochen wird. G. bezieht sich auf die geschichtlichen Bemerkungen.

Seite.

Abenddämmerung . . . . 166.
Abendröthe . . . . . 183.
Aberration d. Fixsterne . . .
Abplattung d. Erde . . . 15.
Absorption d. Gase 71. 79. 81. 205. 216. 221.
d. Lichtes . . . . . 161. 167.
d. Wärme . . . . 198. 224.
Achromasie, achromatische Linsen 182. 186.
Adhäsion . . . . . 52. 71.
Aeolodikon . . . . . 148.
Aeolsharfe . . . . . 146.
Aepinus . . . . . 123.
Aequator, magn. . . . . 112.
Aequatorealstrom . . . 228. 231.
Aetzen . . . . . 88.
Aggregatszustände. . . . 20. 201.
Akkommodationsvermögen . 186.
Alaun . . . . . 90.
Albertus magnus . . . . 87.
Alchemisten . . . . . 104.
Alhazen . . . . . 190.
Alkalien, alk. Erden . 83. 88. G. 104.
Alkarazzas . . . . . 208.
Alkohol s. Weingeist.
Aluminium . . . . . 90.
Amalgam . . . . . 90. 115.
Ammoniakgas 88. 90. 71. 92. 93. 98.
Anklitz . . . . . 87.
Antimon . . . . . 256.
Anziehung, Arten d. . . . 52.
Anziehung, chem. . . . . 76.
magnet. . . . 107.
Anziehungskraft d. Erde . . 6.

Seite.

Aräometer . . . . 51. G. 52.
Archimedes . 22. 43. 52. 54. 190.
Aristoteles . . . . 17. 54. 156.
Armirung . . . . . 109.
Arrak . . . . . 100.
Artesische Brunnen . . . . 47.
Asche . . . . . 96. 89. 93. 98.
Athmen . . . . . 63. 101.
Atmosphäre, Bestandtheile 77. G. 82.
Durchsichtigkeit . . . 168. 199.
Elektricität . . . 123. G. 126.
Höhe und Druck . . 56. 247.
Abnahme d. Dichtigkeit . 248.
Temperatur in der Höhe 199. 221. 225.
Atomgewicht . . . . . 251.
Atomistische Theorie . . . 104.
Auflösung . . . . . 85.
Auge . . . . . 185.
Ausdehnung . . . . . 55.
durch d. Wärme . . . . 190.
Ausdehnungscoefficient . . 262.
Ausdünstung der Haut . . 102.
Auslader . . . . . 120.
Ausstrahlung d. Wärme . 196. 197. 209. 222. 224. 225.

Backen . . . . . 100.
Baco Roger . . . . . 87. 179.
Baco v. Verulam . 156. 230.
Barometer . . . 57. 194. G. 74.
Barometerschwankungen . . 231.
Barometerstand, reduc. . . 263.
Barral . . . . . 73.
Basis . . . . . 83. 86. 133.

Seite.

Batterie . . . 121. G. 122. 130.
Becher . . . . . 104.
Beharrungsgesetz . . . 1. G. 17.
Beleuchtung . . . . . 96.
Bergmann . . . . 104. 105.
Berthollet . . . . . 82.
Berührungselektricität . . 127.
Berzelius . . . . . 134.
Beschleunigung . . . . 4. 237.
Bier . . . . . 99. 71.
Bild . 157. 162. 164. 174. 179.
Biot . . . . . 73. 152. 154.
Bittersalz . . . . . 84.
Bixio . . . . . 73.
Black . . . . . 82. 233.
Bläue d. Himmels . . . . 183.
Blasebalg . . . . . 63.
Blaseinstrumente . . . 147. 152.
Blattgold . . . . . 81.
Blausäure . . . . . 88.
Blei . . . . . 200.
Bleichen . . . . . 81.
Bleiweiß . . . . . 199.
Bleizucker . . . . . 133.
Blitz, Blitzableiter, Blitzröhre 124. G. 126.
Blut . . . . . 102.
Boerhave . . . . . 233.
Böttticher . . . . . 90.
Bois-Reymond, du . . 133. 140.
Bollstädt, Alb. v. . . . . 87.
Bolus. . . . . 91.
Boyle . . 75. 47. 104. 115. 207.
Bramah . . . . . 49.
Branntwein . . . . . 100.
Braunstein . . . . . 81. 84.
Brechung d. Strahlen . . . 168.
Brechungsexponent . . . 259.
Brennglas . . . . . 175.
Brennpunkt, Brennweite 163. 174. 259. 260.
Brennspiegel . . 165. G. 190.
Brillen . . . . 186. G. 178.
Broncemetall . . . . . 91.
Brückenwage . . . . . 31.

Cadmium, ... 203.
Calcium, Calciumoxyd 80. 89. s. Kalk.
Calmen . . . . . 228.
Calorimeter . . . . . 264.
Camera obscura . . . . 175.
Capillarität . . . . . 53.
Carliske . . . . . 134.
Casein s. Käsestoff.

Seite.

Caus, Sal. de . . . . . 219.
Cavendish . . . . . 82.
Celsius . . . . . 194.
Centralbewegung . 13. 239. G. 17.
Centripetalkraft . . . . 14. 239.
Champagner . . . . . 99. 71.
Charles, Charlière . . . . 73.
Chemie, organ. . . . . 91.
unorgan. . . . . 76.
Chladni . . . . . 147.
Chlor . . . 81. 71. 87. G. 82.
Chlorverbindungen . 77. 80. 84. 87. 89. 176.
Chylus . . . . . 102.
Chymus . . . . . 102.
Coak . . . . . 80. 96.
Cognac . . . . . 100.
Cohäsion . . . . 20. 43. 52.
Columbus . . . . 112. 230.
Communicirende Röhren . 47. 246.
Communikationsrohr . . 68. 152.
Compaß . . . . . 107. 23.
Compensationspendel . . . 191.
Complementäre Farben . . 180.
Compressionspumpe . . 65. 59.
Condensator, elektr. 122. 128. G. 123.
i. Dampfmaschen 213. 214. 216. G. 219.
Conduktor . . . 115. G. 117.
Consonanz . . . . . 143.
Constante Kette . . . 130. 134.
Continentalklima . . . . 225.
Coulomb. . . . . 113. 123.
Ctesibius . . . . . 74.
Cyan . . . . . 88.
Cylinder . . . . 94. 213. 217.

Dämmerung . . . . 166. 248.
Daguerresche Bilder . . . 175.
Dalton . . . . . 104.
Daltonsches Gesetz 73. 193. 207. G. 75.
Dampfmaschine . . 213. G. 219.
Daniell . . . . . 131.
Davy . . . . . 95. 134.
Deklination . . . . . 111.
Descartes . . . . . 190.
Destillation . . . . . 86. 100.
Diamant . . . . . 80.
Diastas . . . . . 99.
Dichtigkeit . . . . . 21. 240.
größte d. Wassers . . . 192.
Differentialthermometer . . 195.
Dinte . . . . . 91.

Seite.

Dintefaß, hydrost. . . . . 62.
Dollond . . . . . 182.
Donner . . . . . 125. 142.
Doppelsalz . . . . . 90.
Dove . . . . . 227. 230.
Drebbel . . . . . 195.
Drehpunkt . . . . . 26.
Drehungsgesetz . . . 229. G. 230.
Dreiklang . . . . . 144.
Druck des Wassers . . . 49.
Druckpumpe . . . . 49. 63. 64.
Drummondsches Kalklicht . 156.
Dünger . . . . . 93. 98.
Dufay . . . . . 115.
Dunst, Dunstbläschen . . 206. 210.
Durchsichtige Körper . . . 168.

Ebbe . . . . . 16. G. 18.
Ebn Junis . , ... 36.
Echo . . . . . 155. G. 156.
Einfache Körper . . . . 82.
Einfallsloth, Einfallswinkel . 161.
Eis . . . . . 204.
Eisen . . 91. 88. 107. 191. 200.
Eisenverbindungen . 78. 88. 91. 86.
Eispunkt . . . . . 193.
Eiweiß, eiweißartige Stoffe . 92 98. 99. 102. 103.
Elasticität . . . . . 21. 142.
Elektricität . . . . . 113. 85.
Elektrisirmaschine . . 115. G. 117.
Elektrochem. Theorie . . . 134.
Elektromagnet, elektromagn. Erscheinungen . . . 135. 136. 255.
Elektrometer . . 114. 117. 122.
Elektrophor . . . . 118. G. 123.
Element . . . 104. 130. s. Kette.
Elongationswinkel . . . . 238.
Empfindlichkeit d. Wage . 30. 243.
Endosmose . . . . . 54. 102.
Erdmagnetismus . . . 110. 255.
Erhabene Spiegel . . . 162. 258.
Erleuchtung, Stärke d. . 152. 256.
Erwärmung . . . 96. 197. 222.
Essig . . . . . 100.
Essigsaure Verbind. . . 91. 133.
Excentrische Scheibe 41. 215. 218.
Excremente . . . . . 98. 102.
Expansivkraft . 20. 59. 205. 207.
Extraktivpresse . . . . . 46.

Fadenelektrometer . . . 114. 117.
Fäulniß . . . . . 98.
Fahrenheit . . . . . 194. 195.

Seite.

Fahrten d. Schiffer . . . . 230.
Fall, Fallgesetze . 6. 235. G. 17.
Fallschirm . . . . 72. G. 73.
Faraday . . . . 135. 107. 141.
Farbe d. Körper . . . . 183.
Farbenkreisel . . . . 181. 187.
Farbenspektrum . . . . 179. 182.
Farbenzerstreuung . 179. G. 190.
Farbestoff, Färben, . . . 90.
Faserstoff . . . . . 92. 102.
Fata Morgana . . . . . 171.
Fechner . . . . . 73.
Fernrohr 176. 177. 178. 261. G. 178.
Feste Körper . . . 20. 21. 191.
Fette . . . . . 102.
Feuchtigkeitsgehalt . . . 209. 232.
Feuerspritze . . . . 64. G. 74.
Feuerzeug . . . . . 79.
Fibrin . . . . . 92.
Fizeau . . . . . 159.
Flageolettöne . . . . . 146.
Flamme . . . . . 94.
Flasche, elektr. . . . 119. G. 122.
Mariottesche . . . . . 67.
Flaschenzug . . . . . 32. 243.
Fleisch . . . . . 92. 103.
Flöte . . . . . 148.
Flüssigkeiten 43, s. tropfbarfl. K.
Fluth . . . . . 16. G. 18.
Fortpflanzung d. Lichtes . . 156.
d. Schalles . . . . . 152.
d. Wärme . . . . . 196.
Foucault . . . . . 159.
Fourier . . . . . 233.
Franklin . . 126. 105. 123. 199.
Franklinsche Tafel . . . . 120.
Franzbranntwein . . . . 100.
Fruchtwechsel . . . . . 93.

Gährung . . . . . 99. 80.
Galilei 17. 18. 45. 54. 74. 178. 195.
Galle . . . . . 102.
Galvani, Galvanismus 127. G. 128.
Galvanometer . . . . . 136.
Galvanoplastik . . . . . 135.
Gase . . . . . 20. 76. G. 82.
Gauß . . . . . 113. 140. 156.
Gay Lussac . . 73. 88. 153. 193.
Geber . . . . . 88. 104.
Gebundene Elektricität . . 118.
" Wärme . . . 202.
Gefrieren . . . . . 204. 70.
Gefrierpunkt . . . . . 193.
Geoffroy . . . . . 104.

Seite.
Gerbsäure . . . . 91. 99. 103.
Geschwindigkeit . . . . 4. 235.
d. Elektricität . . . . 121. 252.
d. Lichtes . . 158. 256. G. 159.
d. Schalles . . . . . 154.
Getriebe . . . . . 34.
Gewicht, spec. und absol. 21. 51. 71. 247.
Gewitter . . . . 123. 211 231.
Gilbert . . . . 112. 115. 139.
Glas . . . . . 89.
Glaselektricität . . . . . 114.
Glauberfalz . . 85. 86. 89. 203.
Gleichgewicht . . . . . 23. 242.
Glockenmetall . . . . . 91.
Göpel . . . . . 33.
Gold . . . . . 90. 88.
Graham . . . . . 193.
Graphit . . . . . 80.
Graupel . . . . . 212.
Gravitation . 15. 52. 239. G. 17.
Gray . . . . . 115. 117.
Grenzwinkel . . . . . 169. 259.
Grubengas . . . . . 95.
Grünspan . . . . . 91.
Grundeis . . . . 204. G. 205.
Guerike . . . . 74. 115. 117.
Guerikesche Leere . . . . 69.
Gyps . . . . . 80. 90.

Haarröhrchen . . . . . 53.
Hadley . . . . . 230.
Hängetasche . . . . . 218.
Hagel . . . . . 212.
Halbkugeln, Magdeb. . 70. G. 74.
Halley . . . . . 112. 230.
Hammer, elektromagn. . . 140.
Hansteen . . . . . 113.
Harn . . . . . 102.
Harrison . . . . . 193.
Harte Körper . . . . . 21.
Harzelektricität . . . . . 114.
Haspel . . . . . 33.
Hawksbee . . . . . 117.
Hebel . . . . . 25. 242. G. 43.
Heber . . . . . 62. 65.
Hefe . . . . . 99. 100. 101.
Hele . . . . . 36.
Herbstregen . . . . . 231.
Hero . . . . . 74.
Heronsball . . 59. 64. 70. G. 74.
Hochdruckmaschine . 216. G. 219.
Höhe des Tones . . . . 143.
Höhenmessung, barom. . 58. 249.

Seite.
Hohlgläser . . 172. 178. 182. 260.
Hohlspiegel 162. 155. 175. 177. 182. 197. 258. G. 190.
Hugi . . . . . 205.
Humboldt . 227. 112. 133. 154.
Humus . . . . . 98. 92.
Huyghens . . . . . 17. 36.
Hydrat . . . . . 86.
Hydraul. Presse . . . . . 48.
Hydrostat. Paradoxon . . . 45.
Hydrogen 79. s. Wasserstoff.
Hygrometer . . . . . 210.
Hydrooxygengasmikroskop . 177. 79.

Jahreswärme, größte u. kleinste 222.
Jahreszeiten . . . . . 223.
Jakobi . . . . . 135.
Indifferenzstelle . . . . . 107.
Induktion . . . . . 140.
Inklination . . . . . 111.
Intermittirende Quelle . . 66.
Intervalle . . . . . 144.
Instrumente, Blase- s. B. optische . . . . . 175. 261.
Jodsilber . . . . . 175.
Irradiation . . . . . 187.
Isoliren . . . . . 114.
Isothermen . . . . . 227.

Kältemischungen . . . . 203.
Kämtz . . . . . 227.
Käsestoff . . . . . 92. 102.
Kaleidoskop . . . . . 162.
Kalium, Kali, Kaliverb. 88. 77. 84. 91. 93. G. 134.
Kalk, Kalkerde 89. 80. 85. 91. 93 203.
Kanonengut . . . . . 91.
Keil . . . . . 38. 244.
Keppler . . . 17. 18. 56. 178.
Kepplersche Gesetze . 15. 239. 240. G. 17.
Kette, galv. constante . . 130. 134.
offene, geschlossene . . . 131.
Kienruß . . . . . 199.
Kieselerde, Kieselsäure . 89. 90. 92.
Kircher . . . . . 179.
Klang . . . . . 143.
Klangfiguren . . . . . 146.
Kleber . . . . . 92. 99. 101.
Knallgas . . . . 79. 156. 177.
Knochen . . 57. 90. 93. 103. 207.
Kobalt . . . . . 107.
Kochen . . . 201. 205. 70. 207.
Kochsalz . . . . 82. 84. 85. 89.

Seite.
Königswasser . . . 88. G. 104.
Kohle, Kohlenstoff 80. 71. 82. 87. 88. 91. 94. 96. 97. 98. 101. 131. 134.
Kohlenmeiler . . . . . 97.
Kohlenoxydgas . . . . 96. 97.
Kohlensäure . 80. 71. 77. 82. 85. 87. 94. 96. 99. 101.
Kohlensaure Verb.. 80. 85. 89. 91.
Kohlenwasserstoff . 94. 72. 96. 98.
Konische Räder . . . . 41. 215.
Kraft . . . . . 4.
bewegende Kr. . . . 42. 245.
Krummzapfen . . . . . 33.
Krystalle, Krystallisiren . 86. 203.
Kupfer . . . . 90. 127. 131.
Kupfersalze . 84. 86. 91. 131. 134.
Kurbel . . . . . 33. 41. 214.

Labialpfeifen . . . . . 149.
Landregen . . . . . 231.
Landwind . . . . . 230.
Latente Wärme 202. 203. 264. G. 233.
Laterna magica . . . . 177.
Lauge . . . . . 89.
Lavoisier . . . 106. 82. 104. 233.
Leder . . . . . 103.
Leere, Guer. und Torric.. . 69
Legirungen . . . . . 96. 203.
Leim, Leimsubstanz . . . 103.
Leiter d. Elektr. . 114. 121. G. 115.
" d. Wärme . . . 196. 226.
Le Normand . . . . . 73.
Leslie . . . . . 196. 233.
Leuchten, Leuchtgas . . . . 96.
Leuchtthurm . . . . . 165. 175.
Licht, Lichtstrahlen . . . . 156.
elektr. . . . . 133. 156.
chem. zersetzend . . . 84. 175.
Lichtbilder . . . . . 175.
Lieberkühn . . . . . 179.
Liebig . . . . . 105.
Linsen . . 172. 176. 182. 186. 260.
Lippenpfeifen . . . . . 149.
Löschen des Feuers . . . 95.
Lokomotive . . . . . 216.
Longitudinalschwingungen 142. 147.
de Luc . . . . 205. 212. 233.
Luft s. Atmosphäre.
Luftballon, Luftschifffahrt . 71. 249.
Luftdruck . 56. 194. 206. 232. 248.
Luftförmige Körper . 54. 20. 192.
Luftpumpe . . . . 67. G. 74.
Luftschwingungen . . 147. G. 156.

Seite.
Luftspiegelung . . . . . 171.
Luftströmung . . . . . 223.
Lufttemperatur . . . . . 232.
Lufthermometer . . . . 194.
Luftzug . . . . . 94.
Lungen . . . . . 101. 102.
Lupe . . . . . 176. 261.

Magensaft . . . . . 102.
Magnesia . . . . . 84. 90.
Magnet, künstl. . . . . 136.
Magnetismus . 107. 135. G. 112.
Magnetnadel, ... 110. 107.
Magnetoelektricität . . . 255.
Malz . . . . . 99. 100.
Mangan . . . . . 81. 84.
Manometer . . . . . 60.
Mariotte . . . . . 75. 233.
Mariottesche Flasche . . . 67.
Mariottesches Gesetz . 59. G. 75.
Maschinen. . . . . 40.
Masse . . . . . 21.
Maurolykus . . . . . 158.
Mechanische Erscheinungen . 1. 75.
Mech. Vortheil, Nachtheil 26. 27. 40. 48.
Meereswasser . . . . . 204.
Melloni . . . . . 233.
Meridian, magn. . . . . 111.
Mersenne . . . . . 155. 156.
Messing . . . . . 90.
Metallgemisch, leichtflüss. . . 203.
Meteorsteine . . . . . 147.
Mikroskop . 176. 177. 261. G. 178.
Milch . . . . . 102. 92.
Milchsäure, Milchzucker . 102. 103.
Mineralbrunnen . . . . 85.
Mitklingen . . . 151. G. 156.
Mittheilung d. Bewegung . 2.
d. Elektricität . . . . 117. 118.
d. Wärme . . . . . 196.
Mittlere Temperatur . . . 222.
Moment, statisches . . . 26. 242.
Mondfinsterniß . . . . . 160.
Montgolfier, Montgolfière . 72. 73.
Morgendämmerung . . . 166.
Morgenröthe . . . . . 183.
Morland . . . . . 152.
Morveau, G. d. . . . . 82.
Moussons . . . . . 230.
Multiplikator . . . . . 136.
Mundharmonika . . . . 148.

Seite.

Nahrungsmittel . . . 101. 102.
Natrium, Natron 88. 82. 85. 91. G. 134.
Natürliche Skala . . . 144. 148.
Nebel . . . . . 123. 210.
Nebenregenbogen . . . . 184.
Neusilber . . . . . 91.
Newton . . . 18. 17. 156. 190.
Nicholson . . . . . 51. 134.
Nickel . . . . . 91. 107.
Niederdruckmaschine . . . 216.
Niederschlag . . . . 209. 210.
Nieren . . . . . 102.
Niveau . . . . . 44.
Nordlicht . . . . . 111.

Objektiv . . . . . 176.
Ocker . . . . . 91.
Oel . . . . . 44.
Oersted . . . . . 139.
Ofen . . . . . 200.
Ohm, Ohmsches Gesetz . 132. 254.
Okular . . . . . 176.
Opernglucker . . . . . 178.
Orgel . . . . . 149.
Oxyd 77. 250. G. 104. s. Sauerstoff.
Oxygen 79. s. Sauerstoff.
Ozon . . . . . 116.

Papin . . . . . 207. 219.
Papinscher Topf . . . . 207.
Parabel . . . . . 10. 238.
Parallelogr. d. Kräfte . . 4. 235.
" verschiebbares 215. G. 219.
Parry . . . . . 153. 154.
Pascal . . . . . 74. 47. 49.
Passatwind . . . . . 229.
Pendel . 11. 34. 191. 238. G. 17.
Pfeifen . . . . . 149.
Pflanzenfaser . . . . . 90.
Pflanzenleben . . . . 92. 101.
Pflanzenstoffe . . . . 91. 92.
Phosphor . . . 77. 91. 92. 95.
Phosphorsäure . . . . . 77.
Phosphorsaurer Kalk, s. Knochen.
Photographie . . . . . 175.
Photometer . . . . . 157.
Physiolog. Wirkung d. Kette 127. 132.
Pictet . . . . . 233.
Planeten . . . . . 15. 239.
Planspiegel . . . . . 161. 257.
Platina . . . . . 88. 90. 134.
Platinaschwamm . . . 71. 79.
Platinazündmaschine . . . 79.

Seite.

Pole, magnet. . . . . 107. 112.
d. galvanische Ketten . . 129.
Polarität . 107. 114. 141. G. 112.
Polarstrom . . . . . 228.
Poren, Porosität . . . . 21.
Porzellan . . . . . 90.
Posaune . . . . . 148.
Pottasche . . . . . 89. 98.
Presse . . . . . 39. 46. 48.
Prevost . . . . . 233.
Priestley . . . 105. 82. 88. 89.
Prisma . . . . . 179.
Pulver s. Schießpulver.
Pumpe . . 63. 216. 219. G. 74.
Pyrometer . . . . . 194.

Quecksilber 44. 47. 52. 57. 60. 76. 115. 161. 176. 191. 193.
Quecksilberoxyd . . . 76. 82. 106.
Quellen der Wärme . . . 220.
" intermittirende . . 66.
Quellentemperatur . . . . 226.

Rad a. d. Welle . . . 33. 244.
Radikal . . . . . 83. 133.
Ränder, farbige . . . . 181.
Rauch . . . . . 96. 125.
Reaumur . . . . . 195.
Recipient . . . . . 67.
Reflexion s. Spiegelung.
" totale . . . 169.
Regen . . . . . 124. 231.
Regenbogen . . 184. 261. G. 190.
Regenwasser . . . . . 86.
Regenzeit . . . . . 123. 231.
Reibung . . . . . 37. 221.
Reibungselektricität . . . 113.
Reibzeug . . . . . 115.
Reif . . . . . 209.
Resonanz . . . . . 151.
Richmannsche Regel . . . 263.
Richter . . . . . 104.
Ritter . . . . . 133.
Römer . . . . . 158. 159.
Röthel . . . . . 91.
Rolle . . . . . 32. 243.
Rotation . . . . . 15.
Ruder . . . . . 28.
Rum . . . . . 100.
Rumford . . . . . 233.
Ruß . . . . . 96.

Sättigung m. Wasserdampf 209. 231.
Säule, Voltasche s. V.

Seite.
Säure . . 83. 86. 133. G. 104.
Saiten . . . 145. 151. G. 156.
Salmiakgeist 89. s. Ammoniakgas.
Salpeter . . . . 98. 84. 87. 89.
Salpetersäure, salpeters. Salze . 87. 83. 89. 98. 131. 134.
Salpetrige Säure . . . 82. 134.
Salz . . . . . 83. 84.
Salzsäure . . . . . 87. 84.
Sanktorius . . . . . 36.
Sauerstoff . 76. 71. 91. 94. 101. G. 82. 104.
Sauerteig . . . . . 100. 101.
Saugen . . . . . 63.
Saugheber . . . . 65. G. 74.
Saugpumpe . . . . 63. G. 74.
Sauffure . . . . . 212.
Savary . . . . . 219.
Schädlicher Raum . . . . 69.
Schall . . . . . 142. G. 156.
Schatten . . . . . 160. 257.
Scheele . . . . 105. 82. 233.
Scheidewasser . . . 87. G. 104.
Schiefe Ebene 36. 236. 244. G. 43.
Schießbaumwolle . . . . 87.
Schießpulver . . . 87. 3. 206.
Schlittenapparat . . . . 140.
Schmelzpunkt . . . . . 203.
Schnarrwerke . . . . . 148.
Schnee . . . . . 201. 212.
Schneegrenze . . . . . 226.
Schnellloth . . . . . 203.
Schnellwage . . . . . 29.
Schnur, endlose . . . . 41. 215.
Schornstein . . . . . 95.
Schraube . . . . . 39. 244.
= o. Ende . . . . 41.
Schraubenschiff . . . . . 40.
Schröpfköpfe . . . . . 57.
Schrot . . . . . 43.
Schrotleiter . . . . . 37.
Schwarz, Berth. . . . . 87.
Schwefel . . . . . 87. 91. 95.
Schwefelhölzer . . . . . 78.
Schwefelmetalle . . . . . 88.
Schwefelsäure . 86. 78. 84. 99. 134.
Schwefelsaure Salze 86. 78. 79. 84. 90. 91.
Schwefelwasserstoff . . 88. 92. 98.
Schweflige Säure . . . . . 78.
Schwere . . . . 15. 6. 12 G. 17.
spec. s. spec. Gewicht.
Schwerpunkt 22. 29. 30. 240. G. 43.
Schwimmen . . . . . 50. 247.

Seite.
Schwingung . . . . . 11. 142.
Schwingungsgesetze . . . 256.
Schwingungsknoten . . 146. 147.
Schwingungspunkt . . . . 13.
Schwingungszahlen . . . 143.
Schwüle . . . . . 124. 209.
Schwungkraft . . 14. 215. 240.
Schwungrad . . . . . 214.
Seeklima . . . . . 225.
Seewind . . . . . 230.
Segnersches Rad . . . . 46.
Sehwinkel . . . . . 188.
Seife . . . . . 89.
Selterser Wasser . . . 71. 85.
Senkwage . . . . . 51.
Sichel, elektr. . . . . 116.
Sicherheitslampe . . . 95. 196.
Sicherheit d. Gleichgewichts . 23.
Siedepunkt . . . . . 193.
Silber . . . . . 90. 175.
Snellius . . . . . 190.
Soda . . . . . 89. 85. 86.
Sonnenbilder . . . . 158. 179.
Sonnenfinsterniß . . . . 160.
Sonnenmikroskop . . . . 177.
Sonnenstrahlen . . . . . 222.
Spannung, elektr. . . . . 131.
Specifisches Gewicht . 21. 51. 71.
Specif. Wärme . 200. 264. G. 233.
Speisebrei . . . . . 102.
Spektrum . . . . . 182.
Spiegel . . . . . 161. 162.
Spiegeltelesкop . . . . . 182.
Spiegelung . . . . . 161.
Spiritus 100. s. Weingeist.
Spitzen, Einfluß der . . 115. 252.
Sprachrohr . . . . . 152.
Sprengen durch Pulver . 3. 133.
Springbrunnen . . . . . 47.
Spritze . . . . . 63. 64.
Spröde Körper . . . . . 21.
Stabilität . . . . . 28.
Stärke . . . . . 98. 101. 102.
Stärkegummi . . . . . 101.
Stahl . . . . . 104.
Stahl, s. Eisen.
Stange, gezahnte . . . . 41.
Stechheber . . . . . 62.
Stein d. Weisen . . . . 104.
Steinkohle, Steinkohlengas . 72. 95.
Stereoskop . . . . . 189.
Stethoskop . . . . . 153.
Steuer . . . . . 28.
Stevin . . . . . 43. 47. 54.

Seite.

Stickstoff 71. 77. 83. 87. 88. 91. 101. 102. G. 82.
Stimmgabel . . . . . 147. 151.
Stimmorgan . . . . . 149.
Stöchiometr. Gesetze . . . 251.
Stoß . . . . . 245.
Strahlenbrechung 168. 259. G. 190.
astronomische . . . . . 170.
durch Glas . . . . . 172.
Strahlung d. Wärme 196. 197. G. 233.
Strom, elektr. . . . . 131.
Ströme, parallele . . . . 255.
Stufen der Oxydation . . 250.
Subtropische Zone . . . . 229.
Sumpfgas . . . . . 98.
Sylvius . . . . . 104.

Tafel, Franklinsche . . . 120.
Tageshelle . . . . . 166.
Tageswärme, größte u. kleinste 222.
Tangentenbousole . . . . 254.
Taucherglocke . . . . . 55.
Telegraph, elektromagn. . . 136.
Temperatur, gleichschwebende 145. 256.
" mittlere . . . 222.
Thau, Thaupunkt . . . 209. 210.
Thermoelektricität . . . . 256.
Thermometer . . . . . 193.
Thierische Stoffe . . . 101. 91.
Thierleben . . . . . 101.
Thon . . . . . 90. 91.
Tomback . . . . . 90.
Ton . . . . . 142.
Tonleiter . . . . . 144.
Torricelli . . . . . 74. 56. 69.
Transversale Schwing. . . 142.
Triebstock . . . . . 34.
Trompete . . . . . 148.
Tropfbarflüssige Körper 20. 43. 192. 201.
Tropfen . . . . 43. 211. 246.

Ueberträger . . . . 138. G. 140.
Uhren . . . . 34. 13. 191. G. 36.
Undurchdringlichkeit . . . 55.
Undurchsichtigkeit . . . 170.
Unterstützungsfläche . . . 24.

Vegetation . . . . . 93.
Ventil . 63. 64. 68. 207. 213. 218.
Verbrennung . 77. 84. 94. 96. 221.
Verdauen . . . . . 102.

Seite.

Verdichtung . . . . . 271.
Verdunsten . . . . . 20. 207.
Vergrößerungsgläser . . . 175.
Vertheilung d. Elektricität . 117.
. d. Magnetismus . 108.
Verwandtschaft, chem. . 84. G. 104.
Verwesung . . . . 98. 80. 93.
Verwittern . . . . 86. 93. 204.
Vitriol, Vitriolöl . 86. 78. 88. 91.
Volta . . . . 129. 82. 123. 128.
Voltasche Säule 129. 134. 253. G. 129.
Volumen . . . . . 20.

Wärme . 190. 84. 101. 133. G. 233.
Wärme d. Erde . . . . 226.
latente . 202. 203. 264. G. 233.
specifische . . 200. 264. G. 233.
Wärmequellen . . . . . 220.
Wärmestrahlen s. Strahlung G. 233.
Wage . . . . 29. 51. 243. G. 31.
Wahlverwandtschaft . 84. 88. 98. G. 104.
Waldhorn . . . . . 148.
Wasser . . . . . 85. 92. 192.
Wasserdampf 71. 78. 124. 205. 207. 210. 212. 232. G. 212. 219.
Wasserrad . . . . . 33. 46.
Wassersäulenmaschine . . . 46.
Wasserstoffgas 78. 71. 72. 87. 88. 91. 92. 96. 101. 134. G. 82.
Watt . . . . . 82. 97.
Weber . . . . . 156. 113.
Weiche Körper . . . . . 21.
Wein . . . . . 99.
Weingeist . 44. 94. 96. 99. 100. 101. 194. 203.
Wells . . . . . 210.
Wendestunden . . . . . 232.
Wenzel . . . . . 104.
Wetterglas . . . . . 59. 231.
Wetterleuchten . . . . . 126.
Wheatstone . . . . . 140. 252.
Widerstand . . . . . 14.
d. Luft . . . . . 6. 11. G. 17.
Wilke . . . . . 123. 233.
Winde . . . . . 208. 228.
Windkessel . . . . . 64.
Windstille . . . . . 123. 228.
Winkelhebel . . . . . 27.
Winkler . . . . 117. 122. 126.
Winterregen . . . . . 231.
Wismuth . . . . . 203.
Wolken . . . . . 210.

Seite.
Würze . . . . . 99.
Wurfbewegung . . 9. 236. G. 17.
Wurfweite . . . . . 237.

Zähe Körper . . . . . 21.
Zähne . . . . . 34. 244.
Zahnpulver . . . . . 81.
Zauberlaterne . . . . . 177.
Zerlegung d. Kräfte . . 5. 235.
Zersetzung, chemische 84. 133. 134. 175.
Zerstreuung der Farben . . 179.
Zerstreuungskreis . . . . 186.
Zink . 79. 90. 127. 129. 131. 191.

Seite.
Zinkvitriol . . . . . 79. 86.
Zinn . . . . . 90. 203.
Zinnfolie . . . . . 90.
Zonen . . . . . 228.
Zucker . . . . . 85. 99. 100.
Zungenpfeifen . . . . 148. 149.
Zurückstrahlung d. Wärme . 198.
Zurückwerfung d. Lichtes . . 161.
" d. Schalles . 155.
" unregelmäßige 165.
Zusammengesetzte Körper . . 82.
Zusammensetzung d. Kräfte . 5. 235.
" paralleler Kräfte 240.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstraße 47.

In der Ferd. Dümmler'schen Verlagshandlung in Berlin sind ferner erschienen:

Voigt (J.), Geschichte des brandenburgisch-preußischen Staates. 1860. (41 Bogen.) gr. 8. geh. 2 Thlr. gebunden 2 Thlr. 10 Sgr.

„Der durch seine geographischen Arbeiten rühmlichst bekannte Professor F. Voigt hat nunmehr auch ein Geschichtsbuch folgen lassen, das sich durch gewissenhafte Benutzung des vorhandenen Materials, sowie durch knappe, kernige und namentlich unpretentiöse Darstellung in gleichem Maße auszeichnet. Ueberall fühlt man, daß es dem Verfasser um die Sache und nicht um seine Person zu thun gewesen ist: die Wahrheit über die Eitelkeit.

Das kurze Vorwort betont sehr richtig die beiden Punkte, die der Herr Verfasser bei Concipirung und Niederschreibung seines Buches als ein besonderes Ziel, als eine vorzügliche Aufgabe im Auge gehabt, nämlich das Hervorheben des nie unterbrochenen innigen Zusammenhanges zwischen der märkischen und der deutschen Geschichte, dann die objektive Darstellung des Thatsächlichen unter Ausschließung alles anekdotischen Beiwerks".

Schulblatt für die Provinz Brandenburg.

Grundriß der brandenburgisch-preußischen Geschichte in Verbindung mit der deutschen. Dritte Aufl. 1864. (5½ Bgn.) 8. geh. 6 Sgr.

„Die Vorzüge, die wir an dem größeren Werke des Verf. rühmten knappe, kernige Darstellung, Klarheit und Uebersichtlichkeit sind auch diesem kleinen Buche eigen. — Um das Büchelchen, das ursprünglich für die unteren Klassen bestimmt war, auch für die mittleren nützlich zu machen, hat der Verf. in den eigentlichen nur die Hauptereignisse umfassenden Text noch zahlreiche durch kleineren Druck typisch markirte Erläuterungen aufgenommen, die den Zweck, der damit verbunden wurde, vollständig erreichen werden. — Als besonders praktisch arrangirt möchten wir schließlich noch die 3 Tabellen hervorheben, die Prof. Voigt seinem Buche als Anhang beigegeben hat. — Wir zweifeln nicht, daß sich, wie das Buch überhaupt, so dieser Anhang in der Praxis bewähren wird."

Grundriß der alten Geschichte. 1862. 4⅛ Bogen. gr. 8. 5 Sgr.

Der Verf. hat den vorliegenden Grundriß auf den Rath bewährter Schulmänner und in eben der Weise entworfen, nach welcher der mit so großem Beifall aufgenommene „Grundriß der brandenburgisch-preußischen und deutschen Geschichte" (dritte Auflage, 1864) bearbeitet ist.

Gedike's (Dr. **Friedrich**) **Lateinisches Lesebuch.** Fünfundzwanzigste Auflage, besorgt von Dr. **Friedrich Hofmann**, Stadt-Schulrath in Berlin. 1864. (14 Bogen.) 8. 10 Sgr.

Die erste Auflage dieses Lesebuches ist 1782 erschienen und noch heute, nach mehr als 80 Jahren, und trotz der unzähligen Nachahmungen, die in dieser langen Zeit erschienen sind, hat das Buch seinen guten Ruf behauptet und seinen Platz in unsern Schulen nicht verloren. Das ist sicher ein vollgültiger Beweis dafür, daß der Verfasser nach richtigen Grundsätzen und mit Geschick gearbeitet hat und daß die Herausgeber nichts verabsäumt haben, den durch die Fortschritte in der Methode des lateinischen Unterrichts gesteigerten Ansprüchen gerecht zu werden. — Es ist für die Schüler der Sexta und Quinta ein kleines grammatisches Lehrbuch beigefügt worden, welches nur das enthält, was sie lernen sollen, und dies so aufeinander folgen läßt, wie sie es lernen sollen, und diesem Lehrbuch sind Abschnitt für Abschnitt die Lesestücke so angepaßt worden, daß sie nichts enthalten, was nicht aus dem bereits Gegebenen leicht erklärt werden kann.

Munk (Prof. Dr. **Eduard**), **Geschichte der griechischen Literatur.** Für Gymnasien und höhere Bildungsanstalten. Zweite Ausgabe. Zwei Theile. 1863. 8. geh. 3 Thlr.

Die überaus günstige Aufnahme, die die erste Auflage dieses Werkes sowohl in den pädagogischen Blättern, als in den Lehrerkreisen fand, war für den Verf. eine Aufforderung, in Berücksichtigung der Wünsche wohlwollender Freunde des Buches bei dieser zweiten Auflage die Uebersicht des ganzen Literaturstoffes durch getroffene Einrichtungen zu erleichtern. Vielfache Vermehrungen und Berichtigungen abgerechnet, hat der Verf. die in der ersten Auflage in Prosa übersetzten poetischen Stücke größtentheils, wo das Versmaaß für den Anfänger keine Schwierigkeit bot, in der Versform des Originals wiedergegeben.

——— **Geschichte der römischen Literatur.** Für Gymnasien und höhere Bildungsanstalten. Drei Theile. 1858—1861. 8. geh. 3 Thlr.

„Mit Freude schließt sich Referent den anerkennenden Beurtheilungen an, welche das Werk lange vor seinem vollständigen Erscheinen in anderen Blättern gefunden hat. — Wir halten Plan und Ausführung für sehr zweckmäßig, und wenn irgend etwas geeignet eine behagliche Freude am Gegenstande zu wecken. Die Uebersetzungen sind fast durchweg leicht und angenehm zu lesen; die Auswahl läßt ebenfalls selten etwas zu wünschen übrig und bietet fast überall des Charakteristischen eine so reiche Fülle, daß der Leser die beigefügten Urtheile nicht nur zu verstehen, sondern mit einiger Selbständigkeit zu würdigen im Stande ist." (Literar. Centralbl. 1862. Nr. 33.)

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 067728862